

## TRATAMIENTO DE EFLUENTES: UNA VÍA PARA LA ACUICULTURA RESPONSABLE

Sandra Pardo<sup>1</sup>, Héctor Suárez<sup>2</sup>, Eduardo Soriano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Ciencias Acuícolas, Centro de Investigación Piscícola-CINPIC, Montería - Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Medellín - Colombia. <sup>3</sup>Universidad Federal de Santa Catarina, Núcleo de Estudios Marinos-NEMAR, Brasil. \*Correspondencia: spardo@sinu.unicordoba.edu.co

Recibido: Noviembre 2 de 2005; Aceptado: Marzo 3 de 2006

### RESUMEN

De las actividades acuícolas, la producción en estanques tiene una gran importancia en los países como Brasil, Colombia y Venezuela, entre otros, en donde las cifras de producción presentan un panorama de crecimiento acelerado. La piscicultura, por ejemplo, tiene un enorme potencial debido a las óptimas condiciones de nuestros países en cuanto a hidrología, topografía y edafología, y por la riqueza en especies ícticas con cualidades para cultivo. Así, la piscicultura se torna una actividad agropecuaria autóctona y ventajosa. Trabajar con riquezas naturales propias permite ventajas competitivas, minimizando costos, y reduciendo necesidades de importar insumos y tecnología, entre otras. Observamos que otras actividades agropecuarias se sustentan en especies importadas y adaptadas a las más adversas condiciones, como ejemplo, el ganado europeo, el arroz chino, etc. Sin embargo, se debe reconocer que desarrollar tecnologías de producción obliga a considerar aspectos ambientales que garanticen su permanencia en el tiempo, con beneficios sociales, económicos, etc. La acuicultura como cualquier actividad genera impacto, empezando porque se desarrolla en ecosistemas artificiales diferentes a los naturales, y afectando los recursos hídricos por la cantidad de efluentes ricos en materia orgánica, que son vertidos sin siquiera saber lo que está siendo lanzado. Este artículo presenta una revisión de la actividad, los diferentes tipos de impactos generados y algunas alternativas biológicas para el tratamiento de los efluentes, buscando herramientas para alcanzar una acuicultura responsable.

**Palabras clave:** Piscicultura, acuicultura, efluente, biotransformación, sostenibilidad.

## EFFLUENT TREATMENT: A WAY TO A RESPONSIBLE AQUACULTURE

### ABSTRACT

The aquaculture in ponds has a great importance in the countries like Brazil, Colombia and Venezuela, among other, where the production data show a panorama of quick growth. The fish culture has enormous potential due to the good conditions of our countries as for hydrology, topography and edafology, and for the wealth in fishes with qualities for cultivation. The fish culture is an autochthonous and advantageous agricultural activity. To work with own natural resouorces allow competitive advantages, minimizing costs,

and reducing necessities to import resources and technology, among others. We observe that other agricultural activities are sustained in imported and adapted species to the most adverse conditions, as example, the european livestock, the chinese rice, etc. However, it should be recognized that to develop production technologies forces to consider environmental aspects that guarantee their permanency in the time, with social, economic benefits, etc. The fish culture like any activity generates impact, because it is developed in artificial ecosystems different to the natural ones, and affecting the waters resources for the quantity of effluent rich in organic matter. This article presents a revision of the activity, the different types of generated impacts and some biological alternatives for the effluent treatment, looking for tools to reach a responsible aquaculture.

**Key words:** Fish culture, aquaculture, effluent, biotransformation, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

### Situación actual

La producción acuícola es una actividad de importancia, con un gran crecimiento cada año, alcanzando 52,4 millones de toneladas en el 2002 (1), con un incremento promedio anual de 8.9% desde 1970. La acuicultura hace una contribución significativa nutricional, económica y social, siendo que las agencias de desarrollo mundial la consideran el sector que presenta esperanza de mantener el suministro de productos acuáticos para la población (2, 3).

El crecimiento de la actividad ha sido evidente en varios países de América del Sur. En Colombia, por ejemplo, la producción acuícola durante los últimos años de la década del 80 fue de 3.392 toneladas y para finales del 90 fue de 46.705 toneladas, presentando un crecimiento medio anual del 30% (4). En América latina entre 1988 y 1997, los cultivos se intensificaron a través del uso de tecnologías más avanzadas, manejo técnicamente adecuado, equipos y adecuaciones a las normas y exigencias para exportar el producto, aumentando de 53.000 t en 1988 para 203.000 t en 1997. Colombia contribuyó en ese periodo con 19,1% de la tilapia *Oreochromis spp* (especie exótica) y con el 65% de la cachama blanca *Piaractus brachypomus* (especie nativa) producida, siendo que de 1992 a 1997 el número de acuicultores se duplicó. El cultivo de cachama blanca se incrementó significativamente llegando a 12.000 t/año, y toda esta producción fue comercializada en el mercado doméstico, y la producción de tilapia fue de 16.000 t/año, siendo que la producción total alcanzó 37.000 t/año (5).

Según la FAO (6) se espera que la acuicultura contribuya significativamente con la seguridad

alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo. Ya desde la reunión de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU en 1987, se identificó que la pesca y la acuicultura son actividades consideradas estratégicas para la seguridad alimentaria sostenible del planeta, principalmente porque son actividades que pueden suministrar proteínas de excelente calidad y generar empleo (7). En el informe de la Consulta de Expertos sobre el Propuesto Subcomité de Acuicultura del Comité de Pesca, en la Oficina Regional de la FAO para Asia y el Pacífico en Bangkok, Tailandia en el año 2000, se declaró que el papel de la acuicultura en el incremento de la seguridad alimentaria y el desarrollo económico en los países miembros de la FAO era una prioridad fundamental (8).

La acuicultura y el medio ambiente Vinatea (9) realizó un análisis sobre la inserción que la acuicultura tiene en el medio ambiente y en la sociedad y consideró vital para su desarrollo dar importancia a estos dos factores. El concluyó que la acuicultura debe ser comprendida en toda su complejidad, dejando de lado la simplicidad e imprudencias que han caracterizado las tecnologías emergentes. Las nuevas tecnologías traen éxito repentino, sin dominar el conocimiento necesario y sin una reglamentación que evite cometer errores y alcanzar los límites de capacidad de carga de los cultivos. En este punto, aparece la reducción en la producción, los puntos críticos, las mortalidades y el abandono de la actividad. Por eso, hoy en día se debe hablar de realizar una actividad que pueda permanecer en el tiempo sin causar deterioro en el ambiente y problemas socioeconómicos. New (10) concluye que una acuicultura responsable es aquella que además de ser rentable se hace a conciencia.

Es obvio que con el aumento de la producción piscícola, la actividad cambió, dejando de ser estrictamente aquella piscicultura familiar para convertirse en una industria generadora de mayor lucro y mayores impactos ambientales. La producción de peces, como cualquier otra producción de organismos vivos, trae algunos impactos al medio ambiente (11) que incluyen desde liberación de excretas, restos de alimento y medicamentos, hasta "contaminantes genéticos" como es el caso de trabajar con peces exóticos; ejemplo de esto son las tilapias y carpas (entre muchas otras) introducidas en América del Sur.

El suministro de alimento es el principal causante de deterioro de la calidad del agua. El aporte de nutrientes en los estanques no es del todo aprovechado y en el momento de la pesca, agua con gran cantidad de materia orgánica es lanzada en los ríos o cuerpos de agua natural (12). En muchos sistemas de producción piscícola en estanques, solamente el 30% de los nutrientes suministrado son convertidos en producto, el resto es acumulado en los sedimentos o es liberado en el efluente (que generalmente va hacia los ríos) (13, 14), por lo que, de acuerdo con Schmittou (15), la degradación ambiental causada por los efluentes de la acuicultura, es hoy en día uno de los aspectos de mayor atención. Estudios en producciones de camarón indican que el efluente del día de pesca final es el que más contribuye con el deterioro progresivo de la calidad de los cuerpos hídricos receptores (16). Piedrahita (17) asevera que el efluente de la acuicultura puede contener una variedad de constituyentes que podrían causar impactos negativos al medio ambiente cuando son liberados. De acuerdo con Viadero *et al.* (18) el incremento en la producción de efluentes con parámetros superiores a los máximos permitidos, está directamente relacionado con las mayores biomásas de cultivo. Sin embargo, manejando un adecuado tratamiento para el efluente, puede incrementarse la producción cumpliendo con la legislación. El desafío de la acuicultura está en obtener los beneficios económicos y sociales sin degradación del ambiente, siendo necesarios estudios científicos cuidadosamente planeados que permitan demostrar, que ésta es una alternativa de producción con grandes posibilidades de serla en forma sostenible (2).

Un extenso estudio realizado sobre los diferentes sistemas de producción de carpas en el mundo mostró que hasta los sistemas considerados

"limpios" como el extensivo, semiintensivo y los policultivos causan impacto (19), como veremos más adelante.

#### Los sistemas de producción

La tecnología de la piscicultura presenta diversos métodos y técnicas conocidas como "Sistemas de Producción", con niveles diferentes de inversión, costo de producción y lucro. Estos sistemas también pueden ser clasificados de acuerdo con su capacidad generadora de impacto. Iniciando con los sistemas conocidos como "amigos de la ecología", hasta los superintensivos, con alta capacidad contaminante. Para la producción de carpas en Europa, Kestemont (19) presenta una evaluación de cada sistema y su poder degradador, concluyendo que cada sistema tiene condiciones ideales, pero que todos generan problemas ambientales, aunque, menores que otras actividades de producción animal (incluyendo otros peces como el salmón y la trucha) y agrícola.

Los sistemas de producción más simples, como el extensivo, semiintensivo y el integrado con otras actividades agropecuarias, aunque son considerados como no contaminadores, generan problemas en el momento de la pesca, lanzando lodos al medio ambiente con alta cantidad de excretas, alimento no consumido y hasta químicos usados en la producción (11).

También existen los impactos físicos al medio ambiente por la modificación de los cursos de agua y cambios en su temperatura. Otros problemas son de orden sanitario, donde la alta humedad atrae mosquitos y enfermedades a los humanos como la malaria, dengue y otras enfermedades (20). Otros impactos son de tipo genético, es el caso del cultivo de peces exóticos que generan "contaminación genética" (21).

En la piscicultura integrada a otros sistemas de producción animal y vegetal, generalmente los efectos son positivos pues el sistema utiliza desechos que de otra forma irían directamente al medio ambiente. El medio acuático es capaz de procesar una determinada cantidad de materia orgánica sin deteriorarse. Es también importante considerar el contenido de la materia orgánica del lodo despreciado en la cosecha. La presencia de metales pesados se acumula en los organismos acuáticos y finalmente van a parar al organismo humano. También deben ser considerados los

riesgos a la salud pública por la proliferación de bacterias del tipo coliformes fecales, *Salmonella*, entre otras, provenientes de los residuos y que son integrados al sistema de producción (11).

## DESARROLLO

Buscando mitigar los impactos

Uno de los mayores problemas de la producción acuícola es el aumento de materia orgánica producida por las excreciones de los peces, por el alimento y por las prácticas alimentarias (22) no consumido y por otros insumos adicionados en los estanques de cultivo. El agua que sale del estanque (efluente) va hacia una fuente natural, generando variaciones como disminución en la concentración de oxígeno (OD), aumento en la concentración de sólidos en suspensión (SST), aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO), aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), formas de nitrógeno y fósforo, crecimiento exagerado de algas, eutrofización, entre otras. A pesar de existir interés en el tratamiento de los efluentes desde la década del 70, hubo un estancamiento en las investigaciones al respecto y solamente a partir del final de los 80 y comienzo de los 90 se reinician basados en el sentido común de aprovechar el residuo, más que descargarlo y diluirlo (23).

Dos métodos pueden ser utilizados para disminuir el impacto ambiental causado por los efluentes, en donde el primero de ellos es una disminución de la cantidad de efluentes (24). Boyd (25) recomienda la aplicación de mejores prácticas de manejo como una vía para mejorar la calidad y reducir el volumen. Las prácticas de manejo son el medio más efectivo para reducir la polución y otros impactos ambientales especialmente en la calidad del agua. Son frecuentemente denominadas como Mejores Prácticas de Manejo (BMPs). Algunas BMPs para prevenir la polución del agua son: No usar tasas de siembra ni de alimentación superiores a la capacidad de carga del efluente; usar prácticas de alimentación conservadoras evitando la sobreoferta; fertilizar solamente lo necesario para promover el fitoplancton; reducir el recambio de agua tanto como sea posible; cosechar sin drenar el estanque y pasar el efluente por un tanque de sedimentación antes de la descarga final (26). Los estudios demuestran que reduciendo la cantidad de recambio de agua se reduce también la DBO, los

sólidos en suspensión y los nutrientes del efluente, mejorando su calidad (27). Un estudio demostró que el efluente producido en un año de cultivo era de la misma calidad que el producido en tres años, debido a la reasimilación de nutrientes, creando así la posibilidad de desocupar el estanque completamente cada tres años (28). Otra posibilidad para disminuir la cantidad de efluente es el mejoramiento de las dietas artificiales ofrecidas a los peces de cultivo, fabricándolas con fuentes de nitrógeno y fósforo de alta digestibilidad (29, 30). Recientes investigaciones proponen la adición de aglutinantes en la dieta que no afectan la eficiencia alimenticia y que a cambio permiten la producción de heces más compactas facilitando el tratamiento de efluente (31).

El segundo método consiste en mejorar la calidad del efluente antes de ser lanzado al ambiente. Las técnicas utilizadas van desde la sedimentación, remoción de sólidos hasta la filtración del efluente a través de mangles artificiales, plantas, algas, moluscos, éstos últimos métodos conocidos como biotransformación. Según Troell *et al.* (23) los métodos integrales de biotransformación, además de traer beneficios ecológicos y sociales, permiten producciones adicionales de carne sin otros costos de insumos. Un dato importante para la toma de decisión es que la descarga de un estanque durante la cosecha, es principalmente contaminante al final del volumen del efluente (20 a 5%), cuando lleva las mayores cantidades de nutrientes y sólidos en suspensión (32) y así pueden diseñarse prácticas de manejo que permitan tratar los efluentes en forma más económica.

Recientemente Gautier *et al.* (33) presentaron dos metodologías para reducir el efluente. La primera, concordando con Teichert-Coddington *et al.* (32), es su sedimentación y la segunda es el aprovechamiento biológico a través de la producción de moluscos (34), algas (35, 36, 37), perifiton (38) y humedales artificiales con plantas acuáticas emergentes (39).

### Sedimentación del efluente

Los estanques 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 la cosecha torna esta solución un tanto impracticable. La eficiencia puede ser incrementada si se descarga solamente la porción final del efluente dentro del estanque de

sedimentación. Esto es porque los nutrientes y sólidos se concentran en la última porción, 5-20%, del volumen de descarga del estanque (32). Nuevas técnicas han sido desarrolladas por "Texas Natural Resource Conservation Commission (1997) para el manejo de efluentes de la acuicultura. Una de estas prácticas es que el 25% final del efluente del estanque sea dejado 48 horas en sedimentación antes de ser lanzado al medio ambiente, siempre y cuando que la cantidad de sólidos en suspensión no exceda 30 mg/l. El tiempo de residencia en un estanque de sedimentación afecta directamente el tamaño y número de estanques de sedimentación necesarios para tratar estos efluentes. Teichert-Coddington *et al.* (24) encontraron que la sedimentación es eficiente en la remoción de sólidos en suspensión (cenizas) y no lo es para nitrógeno, por esto, la sedimentación debe ser solamente una parte del tratamiento del efluente. De otra parte, Brinker y Rösch (40), estudiando el tamaño de las partículas, concluyeron que deben evitarse situaciones que fragmenten más los sólidos en suspensión, como la exagerada turbulencia de los aireadores.

#### Filtración por moluscos

Es conocido que los moluscos bivalvos son filtradores muy eficientes, capaces de disminuir en la columna de agua el fitoplancton (41). Los bivalvos no solamente disminuyen el plancton, sino que también reducen los niveles de nutrientes y la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua (42).

La mayoría de los trabajos existentes en este sentido son con moluscos de agua salada, como es el caso del sururu de mangle *Mytella guyanensis* y de la ostra nativa *Crassostrea rhizophorae* en la bioremediación que los impactos de los efluentes de la carcinicultura (cultivo de camarones) en el nororiente brasilero causan al ambiente. Los moluscos son colocados en bandejas dentro del estanque de camarones, cerca de la salida de agua, en una proporción de 9000 semillas por 5 hectáreas de espejo de agua, logrando minimizar la carga de fosfatos, nitritos y nitratos de los efluentes liberados al medio, además de conseguir una producción adicional de moluscos (43, 44). Lin *et al.* (45) integraron un cultivo intensivo de camarón con el musélido *Perna viridis* y concluyeron que de esta forma pueden producirse alimentos adicionales y mejorar la calidad del efluente de la granja.

Para moluscos de agua dulce existen algunas referencias en Europa (46) y en los lagos de América del Norte (47) con *Dreissenia polymorpha*, presentándola como una excelente filtradora capaz de incrementar la transparencia y disminuir la clorofila después de su introducción. Otro musélido de agua dulce utilizado es el *Elliptio complonata*, nativo de los Estados Unidos. Este presenta potencialidad para controlar la proliferación de algas en cultivos de bagre de canal evitando la aparición de sabores y olores indeseables (48).

Un trabajo en la mitigación de la eutrofización en estanques de cultivo de salmón fue realizado en Chile con *Diplodon chilensis* (42) convirtiendo tanques cerrados hiper-eutróficos en tanques oligotróficos. La capacidad filtradora del molusco declinó después de 60 días, necesiándose mayor investigación al respecto.

#### Filtración por plantas acuáticas

De acuerdo con Brix y Schierup (49) los ecosistemas dominados por macrófitas acuáticas son considerados como los más productivos en el mundo. Las plantas acuáticas poseen habilidad para asimilar nutrientes y crear condiciones favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica, por esta razón son conocidas como autodepuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas. El uso de macrófitas emergentes para el tratamiento de efluentes es conocido como sistema de humedales artificiales o naturales. Las macrófitas ofrecen superficies para epífitas y bacterias nitrificantes que son quienes realizan la descomposición de la materia orgánica. La mezcla de macrófitas emergentes y submersas otorga el mayor beneficio para la remoción de nitrógeno en humedales (50).

Según lo expuesto por Brister (51) en reuniones de trabajo sobre la producción acuícola orgánica, realizadas en los Estados Unidos (Programa Nacional de Acuicultura Orgánica de los Estados Unidos, USDA/NOP) en 2000, fueron identificados cuatro aspectos claves que permitirán manejar orgánicamente la acuicultura. Siendo estos la salud, la reproducción, la alimentación, y las estructuras físicas y condiciones de vida de las especies. Dentro de estos últimos aspectos, el grupo de trabajo concluyó que los sistemas integrados y acuapónicos (integración de acuicultura y sistemas hidropónicos) entran en el paradigma de producción orgánica a través de la conservación y el reciclaje de nutrientes. Rakocy y

Bailey (52) presentaron los beneficios económicos de la acuaponía.

Otro uso de las plantas acuáticas para el tratamiento del efluente es a través de los humedales artificiales. Lin *et al.* (53) demostraron que estos sistemas pueden remover entre el 55 al 66% de los sólidos suspendidos, un 37 a 54% de DBO5, entre un 64 a 66% del amonio y 83 a 94% del nitrato del efluente producido por un cultivo de camarones. Posadas (54) reporta que humedales artificiales del 25% del tamaño del estanque y de dos días de retención de agua mejoran significativamente los parámetros de calidad de agua de producción de bagre de canal, reteniendo y asimilando nutrientes disponibles, siendo efectivos en la reducción de poluentes, incluso dejando el agua en mejores condiciones que la del afluente.

Troell *et al.* (23) definen la biofiltración de nutrientes por plantas acuáticas, principalmente por algas, como una acuicultura multitrofica integrada. El uso de algas marinas como organismos extractores de nutrientes ha sido demostrado biológica, técnica y económicamente (55, 56). En Chile la integración de salmón y algas permite reducir el impacto negativo del efluente, los costos de las algas son asumidas por el cultivo de salmón y se produce en un sistema ecológicamente amigable (57).

El fitoplancton es relativamente eficiente en la asimilación de amonio, nitrato y fósforo de fuentes alimenticias (58) y contribuye en el proceso.

#### Sistemas de varias fases

Considerando la variedad de constituyentes del efluente (sólidos y gases disueltos), Piedrahita (17) recomienda la aplicación de varias operaciones de tratamiento. Shpigel *et al.* (59) propusieron el uso de sistemas trifásicos para mejorar el efluente de cultivo de peces marinos. Con el uso de tanques sedimentadores primero, después de bivalvos *Cassostrea gigas* y/o *Tapes semidecussatus* y finalmente algas marinas *Ulva lactuca* consiguieron una más eficiente utilización del nitrógeno del efluente, a través de la producción adicional de algas marinas y ostras, disminuyéndolo considerablemente. Chow *et al.* (60) demostraron la eficiencia de la alga marina *Gracilaria chilensis* como depuradora del efluente de peces, ostras y erizos de mar. Jones *et al.* (34) reprodujeron el anterior sistema en laboratorio y

evaluaron su eficiencia para el tratamiento del efluente de cultivo de camarones marinos, reportando significativas mejorías en los parámetros indicadores de calidad de agua en el efluente. Experimentos con ostras, mostraron que una alta cantidad de sólidos en suspensión genera en ellas problemas patológicos (59), indicando que debe ser reducida previamente la concentración de sólidos en suspensión a través de la sedimentación (34).

## CONCLUSIONES

Considerando la complejidad de un estanque piscícola y las diversas posibilidades que se presentan, es posible formular alternativas, principalmente de varias fases, que permitan producir peces de acuerdo con las exigencias mundiales y con la consciencia de saber que “si no cambiamos nuestros actuales sistemas de producción, la actividad estará condenada a perecer o a ser parte de las actividades altamente lesivas, como ya existen varias en el planeta”.

La planeación social como aspiración, conciliando los principios y sistemas ecológicos, es una necesaria simbiosis antropogénica sobre ecosistemas naturales, inherentes a los variados sistemas políticos, económicos, sociales y culturales, sobre los principios individuales.

Deben aplicarse los conceptos y recursos de las tecnologías limpias, emisión cero y los estudios de impacto ambiental, e incentivar la investigación científica de forma concreta, procurando una piscicultura sostenible o responsable. Con esto se evitarían problemas a la salud humana y de los animales cultivados, respetando los 10 (diez) párrafos del documento escrito por la ONU “Declaración Universal de los Derechos del Agua”.

Vinatea (9) sugiere lo que sería un cultivo ideal: entre muchas otras cosas, considera importante el tratamiento de efluentes a través de la biotransformación, el uso de especies herbívoras u omnívoras, el uso de alimentos de alta digestibilidad y el uso de policultivos y sistemas integrados de producción. Varias de sus ideas quedaron incorporadas en este artículo, concordando y contribuyendo con la investigación para convertir principios teóricos en pragmáticos y alcanzar la sostenibilidad de la acuicultura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. FAO. The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. Rome, Italy 2004; 153.
2. Pillay T. The challenges of sustainable aquaculture. *World aquaculture*, 1996; 27: 7-9.
3. FAO. Desarrollo de la acuicultura. Orientaciones técnicas para la pesca responsable N° 5. FAO. Roma, Italia. 1999; 54.
4. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Boletín estadístico pesquero y acuícola. Bogotá, Colombia. 1998; 35.
5. Hernandez-Rodríguez A, Alceste-Oliviero C, Sanchez R, Jory D, Vidal L, Constain-Franco L. Aquaculture development trends in Latin America and the Caribbean. In: Subasinghe RP, Bueno P, Phillips MJ, Hough C, McGladdery SE, Arthur JR. (eds). *Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok. NACA and FAO 2001; 317-340.
6. FAO. Aquaculture development. FAO Fisheries Circular 1997; 815 (rev. 8).
7. CMMAD. *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas. 1991.
8. FAO. Informe de la Consulta de Expertos sobre el Propuesto Subcomité de Acuicultura del Comité de Pesca. Bangkok, Tailandia, 28-29 de febrero de 2000. FAO Informe de Pesca 2000; 623: 1-39.
9. Vinatea L. *Aquicultura e desenvolvimento sustentável*. Edit UFSC Brasil 1999; 310.
10. New M. Responsible aquaculture: is this a special challenge for developing countries? *World Aquaculture* 2003; 34: 49-52.
11. Papoutsoglou S. Impact of aquaculture on the aquatic environment in relation to applied production systems. In: De Pauw N, Joyce J. (eds.). *Aquaculture and Environment*. Dublin, Ireland. European Aquaculture Society Spec Publ 1991; 16: 71-78.
12. Boyd C. Shrimp pond bottom soil and sediment management. In: Wyban J. (ed.). *World Aquaculture '92—Special Session on Shrimp Farming*. Anais...Baton Rouge: The World Aquaculture Society 1992; 166-181.
13. Acosta-Nassar M, Morell J, Corredor J. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond. *Journal of the World Aquaculture Society* 1994; 25: 261-270.
14. Gross A, Boyd C, Wood C. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering* 2000; 24: 1-14.
15. Schmittou H. Situation outlook and prospects of the world's aquaculture feed supply. In: *Simpósio Internacional Sobre Nutrição de Peixes e Crustáceos, Campos de Jordão, Sao Paulo*. Anais... Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (CBNA) 1995; 9-32.
16. Figueiredo MCB de, Araújo L, Gomes R, Rosa M, Paulino W, Morais LFS de. Environmental impacts of inland shrimp farming effluents. *Eng Sanit Ambient* 2005; 10: 167-174.
17. Piedrahita R. Reducing the potencial environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 2003; 226: 35-44.
18. Viadero R, Cunningham J, Semmens K, Tierney A. Effluent and production impacts of flow-through aquaculture operation in west Virginia. *Aquacultural Engineering*, 2005; 33: 258-270.
19. Kestemont P. Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture* 1995; 129: 347-372.

20. Billard R, Perchec G. Systems and technologies of production and processing for carp. In: Kestemont P, Billard R. (eds.). Aquaculture of freshwater species (except salmonids). Torremolinos, Spain. European Aquaculture Society Spec Publ 1993; 20: 1-5.
21. Cross T. Potential genetic interactions between reared and wild fish in Europe, with particular emphasis on Atlantic salmon. In: De Pauw N, Joyce J. (eds.). Aquaculture and Environment. Dublin, Ireland. European Aquaculture Society Spec Publ 1992; 16: 299-308.
22. Tacon A, Forster I. Aquafeeds and the environment: policy implications. Aquaculture 2003; 226:181-189.
23. Troell M, Neori A, Chopin T, Buschmann AH. Biological wastewater treatment in aquaculture—more than just bacteria. World Aquaculture 2005; 36: 27-29.
24. Teichert-Coddington D, Rouse D, Potts A, Boyd C. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. Aquacultural Engineering 1999; 19: 147-161.
25. Boyd C. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. Aquaculture 2003; 226:101-112.
26. Boyd C. The status of codes of practice in aquaculture. World Aquaculture, 2003; 34: 63-66.
27. Hopkins J, Hamilton R, Sandifer P, Browdy C, Stokes A. Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets os intensive shrimp ponds. J World Aquacult Soc 1993; 24: 304-320.
28. Seok K, Leonard S, Boyd C, Schwartz M. Water quality in annually drained and in drained channel catfish ponds over a three-year period. Progr Fish Culturist 1995; 57: 52-58.
29. Cho C, Bureau D. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture Research 2001; 32: 349-360.
30. Johan P, Watanabe T, Satoh S, Kiron V. Formulation of low phosphorus loading diets for carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture Research 2001; 32: 361-368.
31. Brinker A, Koppe W, Rösch R. Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. Aquaculture 2005; 249: 125-144.
32. Teichert-Coddington DR, Martinez D, Ramirez E, 1996. Characterization of shrimp farm effluents in Honduras and chemical budgets of selected nutrients. In: Egna H, Goetze B, Burke D, McNamara M, Clair D. (eds.). Pond Dynamics/ Aquaculture Collaborative Research Program, Thirteenth Annual Technical Report. PD/A CRSP, Office of International Research & Development, Oregon State University, Corvallis, USA 1996; 70-84.
33. Gautier D, Amador J, Newmark F. The use of mangrove wetland as a biofilter to treat shrimp pond effluents: preliminary results of an experiment on the Caribbean coast of Colombia. Aquaculture Research 2004; 32: 787-799.
34. Jones A, Dennison W, Preston N. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. Aquaculture 2001; 193: 155-178.
35. Hussenot J, Lefebvre S, Brassard N. Open-air treatment of wastewater from land-based marine fish farms in extensive and intensive systems: current technology and future perspectives. Aquatic Living Resour 1998; 11: 297-304.
36. Porrello S, Lenzi M, Tomassetti P, Persia E, Finioia M, Mercatali I. Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system: II. Nitrogen and phosphorus content in macroalgae and sediment. Aquaculture 2003; 219: 531-544.
37. Wang J. Conceptual design of a microalgae-based recirculation oyster and



- shrimp system. *Aquacultural Engineering* 2003; 28: 37-46.
38. Azim M, Wahab M, van Dam A, Beveridge M, Milstein A, Verdegem M. Optimization of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquaculture Research* 2001; 32: 749-760.
  39. Schulz C, Gelbrecht J, Rennert B. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture* 2003; 217: 207-221.
  40. Brinker A, Rösch R. Factors determining the size of suspended solids in flow-through fish farm. *Aquacultural Engineering* 2005; 33: 1-19.
  41. Dame R, Dankers N, Prins T, Jongsma H, Smaal A. The influence of mussel beds on nutrients in the Western Wadden Sea and Eastern Scheldt Estuaries *Estuaries* 1991; 14: 130-138.
  42. Soto D, Mena G. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture* 1999; 171: 65-81.
  43. Olivera A. Os moluscos bivalves e a biorremediação dos impactos da carcinicultura. *Panorama da Aquicultura* 2001; 11: 37-39.
  44. Olivera A, Brito L. Treating shrimp farming effluent using the native oyster, *Crassostrea rhizophorae*, in Brazil. *World Aquaculture* 2005; 36: 60-63.
  45. Lin C, Ruamthaveesub P, Wanuchsoontorn P. Integrated culture of the green mussel *Perna viridis* in wastewater from an intensive shrimp pond: concept and practice. *World Aquaculture* 1993; 24: 68-73.
  46. Reeders H, Bij de Vaate A, Slim FJ. The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biol* 1989; 22: 133-141.
  47. Bunt C, Mac Isaac H, Sprules W. Pumping rates and projected filtering impact of juvenile Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) in Western Lake Erie. *Can J Fish Aquat Sci* 1993; 50: 1017-1022.
  48. Stuart K, Eversole A. Filtration of green algae and cyanobacteria by freshwater mussels in the partitioned aquaculture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 2001; 32: 105-111.
  49. Brix H, Schierup H. The use of the aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio* 1989; 18: 100-107.
  50. Weisner S, Eriksson P, Granéli W, Leonardson L. Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands. *Ambio* 1994; 23: 363-366.
  51. Brister D. Organic aquaculture: moving toward national standards. *World Aquaculture* 2001; 32: 51-53.
  52. Rakocy J, Bailey D. Initial economic analysis of aquaponic systems. In: Chopin T, Reinertsen H. (eds.). *Aquaculture Europe 2003: Beyond Monoculture*. Trondheim, Norway. European Aquaculture Society Spec Publ 2003; 33: 58-64.
  53. Lin Y, Jing S, Lee D, Chang Y, Chen V, Shih K. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environmental Pollution* 2005; 134: 411-421.
  54. Posadas B. Comparative economic analysis of using different sizes of constructed wetlands in recirculating catfish pond production. *Journal of Applied Aquaculture* 2001; 11: 1-19.
  55. Troell M, Halling C, Neori A, Chopin T, Buschmann AH, Kautsky N, et al. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 2003; 226: 69-90.
  56. Neori A, Chopin T, Troell M, Buschmann A, Kraemer G, Halling C, et al. 2003.

- Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern maricultura. *Aquaculture* 2003; 231: 361-391.
57. Buschmann A, Hernández-González M, Astudillo C, De la Fuente L, Gutierrez A, Aroca G. Seaweed cultivation, product development and integrated aquaculture studies in Chile. *World Aquaculture* 2005; 36: 51-53.
58. Lazur A, Britt D. Pond recirculating production systems. SRAC Publication 1997; 455: 1-7.
59. Shpigel M, Neori A, Popper D, Gordin H. A proposed model for “environmentally clean” land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture* 1993; 117: 115-128.
60. Chow F, Macchiavello J, Santa Cruz S, Fonck E, Olivares J. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters and sea urchins. *J World Aquacult Soc* 2001; 32: 215-220.