

# Los Sistemas Acuícolas de Recirculación: ¿una alternativa para el cultivo sustentable de peces ornamentales en el Estado de Morelos?

Omar Domínguez Castanedo<sup>1</sup>

**Resumen.** *Se analiza la viabilidad de la implementación de los Sistemas Acuícolas de Recirculación en la acuicultura ornamental del estado de Morelos. El estado de Morelos es considerado el principal productor de peces ornamentales en nuestro país, no obstante, opera bajo circunstancias poco sostenibles; generando problemáticas biológicas, ecológicas y socioeconómicas (uso irracional del agua, descontrol en las condiciones del cultivo, mala calidad en los peces, etc.), las cuales limitan su crecimiento. Una alternativa que permite solucionar algunas de estas problemáticas es el uso de los sistemas intensivos, ya que permiten un manejo racional del agua y mantienen la producción aislada del medio natural, entre otros beneficios. Sin embargo, por sí solos estos sistemas no representan una alternativa viable para lograr que el proceso acuícola de peces ornamentales del estado de Morelos sea sustentable, asumiendo hasta la actualidad un impacto en la mejora del proceso productivo solo de tipo potencial por las desventajas que también poseen.*

**Palabras clave:** *Sistemas Acuícolas de Recirculación, sustentabilidad, acuicultura, peces ornamentales, estado de Morelos.*

<sup>1</sup> Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, e-mail: odominguez@correo.xoc.uam.mx.

**Abstract.** *The viability of implementation of the recirculating aquaculture systems was analyzed in the ornamental fish culture of the State of Morelos, México. The State of Morelos is considered the main ornamental fish producer in our country, however, it operates under unsustainable conditions, generating biological, ecological and socio-economic problems (inadequate use of water, lack of control in breeding conditions, poor fish quality, etc.), which limit their growth. A solving alternative to some of these problems is the intensive culture systems, which allows efficient water management and maintains production isolated from the environment, among other benefits. However, these systems do not represent a viable alternative to sustainable of the State of Morelos ornamental fish aquaculture process by themselves, assuming to date just a potential impact type.*

**Key words:** *Recirculating Aquaculture Systems, sustainability, aquaculture, ornamental fish, Morelos State.*

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura de peces ornamentales, a pesar de no producir artículos de primera necesidad como lo es el alimento, es una actividad que crece cada vez más rápido. Su importancia radica en el gran número de personas (hasta hoy desconocido) que han encontrado en esta actividad un modo de vida ante la imperante situación actual de crisis económicas y desempleo (Martínez *et al.*, 2004; Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2008; Ramírez *et al.*, 2010).

En el estado de Morelos, principal entidad productora de peces ornamentales, esta actividad aportó en el año 2000, 14 millones de pesos. Para el 2002 se generaron 26 millones de pesos (con la venta de 16.5 millones de peces de 35 especies) (Conapesca, 2005). Para el 2010, el aporte de esta actividad fue de \$25 900 000. Todas estas cifras se encuentran muy por debajo de las reales, pues se sabe que un gran porcentaje de productores trabaja de manera informal, por lo que no son

tomados en cuenta en las estadísticas oficiales (Martínez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2010).

No obstante su creciente importancia, la acuicultura se desarrolla de manera poco sustentable, ocasionando alteraciones ambientales como: uso desmedido del agua, eutrofización, introducción de compuestos químicos y organismos en los cuerpos de agua naturales, lo cual conlleva a un cambio, en ocasiones irreversible, de los hábitats aledaños a las unidades de producción (Naylor *et al.*, 2000; Challenger, 1998). Dado que esta actividad es una fuente de autoempleo para miles de personas ante las crisis económicas (Martínez *et al.*, 2004), se vuelve prioritario la aplicación de tecnologías con base en el paradigma actual de la acuicultura: incrementar la capacidad productiva de las unidades ( $\text{kg L}^{-1} \text{año}^{-1}$ ), reduciendo el volumen y el espacio ( $\text{kg/m}^2$ ) en un esquema de contención y reutilización de los desechos, con el fin de perpetuar esta actividad productiva bajo un marco amigable con el ambiente (Arredondo *et al.*, 1996; Piedrahita, 2003).

El presente trabajo tiene como finalidad analizar la viabilidad de la implementación de los sistemas acuícolas de recirculación en la producción de peces ornamentales en el estado de Morelos, como una alternativa hacia la piscicultura ornamental de este estado.

## **Problemática del sector acuícola ornamental**

Pese a la importancia económica de la acuicultura ornamental en nuestro país, a lo largo del proceso de cultivo, existen múltiples problemáticas derivadas por una parte de la escasa o nula capacitación de los productores, y por otra, por la inexistente transferencia tecnológica al sector. En la actualidad trabajan de manera empírica, lo cual incrementa las probabilidades de fracaso en sus estrategias productivas. A estas deficiencias se suma la apatía gubernamental para impulsar de manera integral esta actividad, lo que resulta en un impacto negativo, tanto en la problemática

ambiental como en la economía de los productores (Martínez *et al.*, 2007). Todo lo expuesto previamente, limita las posibilidades de competir con el mercado internacional –ya que 80% de los peces disponibles en el mercado nacional son importados– (Martínez *et al.*, 2010a); de esta manera se desplaza cada vez más la producción mexicana de peces ornamentales, descapitalizando las unidades productivas.

En el estado de Morelos, la acuicultura se lleva a cabo, en la gran mayoría de las unidades, de manera tradicional (en estanquería rústica o semi-rústica y a cielo abierto) (Martínez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2010). Esta práctica genera tres problemáticas:

- 1) Impacto ambiental, especialmente por el uso irracional del agua. Se calcula que para producir 1 g de biomasa se utilizan mínimo 4 litros de agua, pues en estas condiciones se realizan recambios indiscriminados del líquido, vertiendo en los alrededores de las instalaciones compuestos químicos, antibióticos, hormonas y materia orgánica (heces fecales y peces muertos) (Naylor *et al.*, 2000; Piedrahita, 2003). Estos desechos contribuyen a la eutrofización de cuerpos de agua naturales (Boyd, 1982; Piedrahita, 1991; Pillay, 1992). Además la introducción en los cuerpos de agua naturales de especies exóticas, provenientes de las granjas, pone en peligro la sobrevivencia de las especies endémicas (Zambrano *et al.*, 2010).
- 2) Descontrol en las condiciones de cultivo. Debido a las características de la estanquería, es decir, gran superficie y volumen que no cuenta con sistemas de filtrado ni aireación y tampoco con el registro de los organismos contenidos en los estanques o con protocolos de alimentación, el resultado es el deterioro de la calidad del agua. Por otro lado, los peces son depredados por fauna silvestre (principalmente aves), ocasionando pérdidas cuantificables (Martínez *et al.*, 2010b; Ramírez *et al.*, 2010).
- 3) Calidad de los peces. Los peces ornamentales, considerados “joyas vivientes”, basan su valor comercial en sus bellas características

físicas (color, tamaño, forma de cuerpo y de aletas), algunas de ellas comprometidas por la inexistencia de un control genético, ya que los peces se reproducen libremente sin restricción parental en los estanques (Bassleer, 1994).

Los puntos anteriores muestran que las problemáticas pertenecen a diversos rubros (ecológico, biológico y socioeconómico) que están interrelacionados entre sí; por lo que la generación de alternativas con un enfoque sustentable podría beneficiar a todas las partes involucradas.

## Acuicultura sustentable

A lo largo de los años, se han generado diversos enfoques en torno al concepto de sustentabilidad, sin cambiar el trasfondo de esta tendencia, desde sus orígenes. De manera general, la sustentabilidad maneja la utilización de los recursos naturales (cualquiera que estos sean), en función de su preservación para el beneficio de las siguientes generaciones, con una visión integral, es decir, obteniendo el mayor crecimiento socioeconómico con el menor impacto ecológico, ambiental, social y cultural (Thia-Eng, 1997; Singh-Renton, 2002). En dicho enfoque se encuentra implícito un cambio social, en el que se requiere de la participación activa de la sociedad y de voluntad política basada en las necesidades humanas básicas, sin anteponer los intereses económicos a los biológicos (Murillo, 1997).

Existen diversas visiones de acuicultura sustentable, sin embargo, todas ellas comparten ciertos puntos para lograr que el proceso acuícola perdure en el tiempo sin ocasionar daños sociales y/o ambientales. En primera instancia, será necesario dejar de obtener peces de cuerpos naturales para criarlos en granjas (Naylor *et al.*, 2000), protegiendo así a las poblaciones naturales. También se vuelve imperativo suspender el uso de productos químicos para curar o mejorar a los peces producidos, fomentando la producción orgánica de peces (Brister y Kapuscinski, 2000).

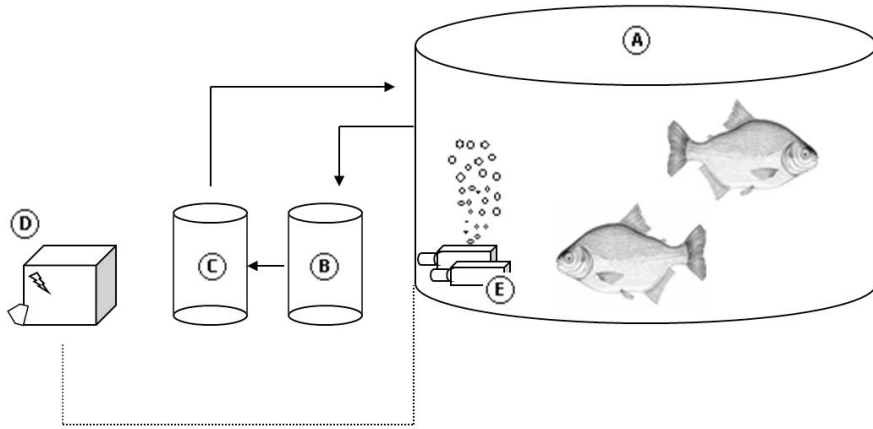
Esto puede lograrse, por ejemplo, mediante el empleo de probióticos en lugar de antibióticos (Gatesoupe, 1999). Otro punto importante es la implementación de policultivos, maximizando los recursos limitados como el agua en la obtención de varios productos comerciales (Neori *et al.*, 2000). También se vuelve muy deseable operar las unidades productivas con energía proveniente de generadores alternativos a los combustibles fósiles como la energía solar o eólica, y finalmente, crear mecanismos que impidan la colonización de especies exóticas, evitando la competencia con las especies nativas (White *et al.*, 2004). La implementación de estas alternativas optimizaría el uso de los recursos maximizando las ganancias; con la subsecuente rentabilidad de las unidades sin ocasionar impacto ambiental. Con base en las anteriores consideraciones, una innovación tecnológica compatible con la tendencia actual de la acuicultura sustentable es el uso de los Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR), considerados una tecnología limpia y ambientalmente adecuada (Arredondo *et al.*, 1996).

## Los Sistemas Acuícolas de Recirculación

Los SAR son sistemas de producción (crecimiento o engorda) intensiva, desarrollados a lo largo de los últimos 30 años, donde se mantiene el mismo volumen de agua en constante circulación para metabolizar los desechos a través de sistemas de filtración, lo que les da la característica de ser sistemas semicerrados, ya que no poseen interacciones significativas con el ambiente (Losordo *et al.*, 1998; Piedrahita, 2003; Timmons *et al.*, 2007). Las entradas del sistema son los peces, el alimento y agua de reposición por evaporación. Las salidas son las heces fecales y los peces muertos (en su caso). Los SAR tienen una capacidad de carga máxima ( $\text{kg L}^{-1}$ ) dada por las características de sus componentes (Piedrahita, 2003). Existen diversos diseños de SAR, principalmente horizontales (figura 1) y en menor medida verticales (figura 2).

Los componentes básicos (conectados entre sí por el sistema hidráulico) se describen a continuación (Chen *et al.*, 1993; Losordo, 1997; Lazur y Deborah, 1997; Losordo *et al.*, 1998; Losordo, 1998; Masser *et al.*, 1999; Summerfelt, 1999; Vinatea, 2002; Piedrahita, 2003; Cline, 2005; Hernández *et al.*, 2009):

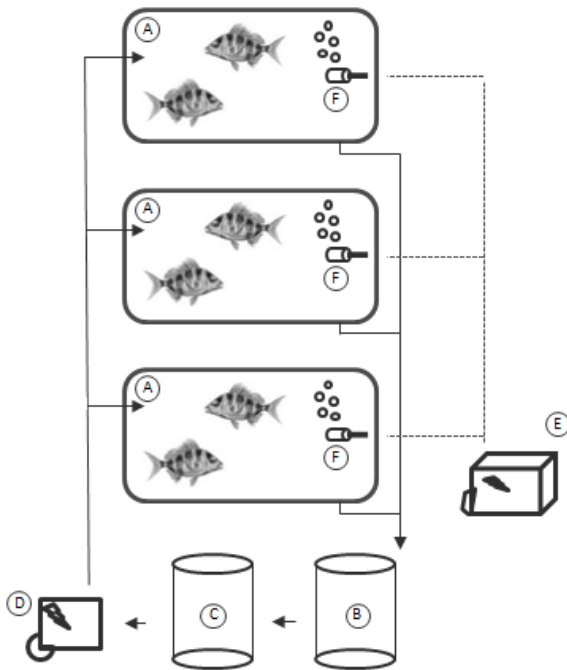
**Figura 1. Componentes básicos de un SAR horizontal: A) Estanque, B) Filtro mecánico, C) Filtro Biológico, D) Bomba de aire y E) Difusores de aire. Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema (Original).**



a) Estanque. Pueden variar considerablemente en tamaño y forma, siendo los más recomendables los circulares, ya que se facilita la extracción de desechos; se promueve que los peces se mantengan en constante movimiento, lo cual conduce, por un lado, a una mejor asimilación del alimento, y por otro, disminuye la agresión entre ellos; b) Filtro mecánico. Su función es la remoción de los sólidos de mayor tamaño antes de que inicie su disolución y liberación en el agua; c) Filtro biológico. Su función es la de metabolizar las sustancias nitrogenadas tóxicas generadas por los peces. Tiene

soportes que son colonizados por bacterias nitrificantes que oxidan el  $\text{NH}_3$  en  $\text{NO}_2$  para finalmente oxidarlo en  $\text{NO}_3$ ; d) Filtro químico. Su función es filtrar las partículas más pequeñas, así como eliminar el color y olor del agua; e) Aireadores o generadores de oxígeno. El oxígeno es el principal limitante de la capacidad de carga en los SAR, ya que es utilizado, tanto por los peces como por las bacterias nitrificantes. Los aireadores ingresan el oxígeno al sistema por intercambio atmosférico y en ocasiones, cuando se trabaja con altas densidades se requiere suministrar oxígeno líquido.

**Figura 2. Componentes básicos de un SAR vertical: A) Estanque, B) Filtro mecánico, C) Filtro Biológico, D) Bomba de agua, E) Bomba de aire, y F) Difusores de aire. Las flechas indican el flujo del agua entre los componentes del sistema (Original).**





## Los SAR como una alternativa sustentable de producción

Los SAR requieren, bajo condiciones controladas, menos del 90 y hasta el 99% del agua y del espacio que utilizan los sistemas de cultivo tradicionales, y sólo necesitan la reposición diaria de 2% del volumen total de agua en labores de limpieza y/o por evaporación (Timmons y Ebeling, 2007; Flimlin *et al.*, 2008), con lo que es factible la instalación de unidades productivas en sitios urbanos e independientes de las condiciones climáticas, lo cual permite producir a lo largo de todo el año (Timmons, 2005). En los SAR es posible mantener desde 9 g L<sup>-1</sup> y en algunos casos, con la implementación de sistemas de apoyo (como el oxígeno líquido), hasta 100 g L<sup>-1</sup> de biomasa, cantidad todavía más notable para el caso de los peces ornamentales, por su tamaño pequeño (< 5 g en promedio) (Ng *et al.*, 1992; Losordo, 1997; Eshchar *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2009).

Debido a su condición de sistemas semicerrados, es posible utilizar compuestos químicos como promotores de crecimiento y medicamentos; y lo más importante, es posible dar un tratamiento al agua antes de desecharla o incluso reutilizarla; siendo esto uno de los mayores retos a trabajar. Además, en estos sistemas se impide la fuga de organismos, evitando que colonicen cuerpos de agua aledaños (Timmons y Ebeling, 2007).

Por lo tanto, en los SAR la tasa de crecimiento de los peces es mayor que en los sistemas tradicionales debido a la mejora en las condiciones de calidad de agua, disponibilidad de alimento y la reducción de pérdidas energéticas durante la búsqueda de este último (Lasur y Britt, 1997; Schuster y Stelz, 1998).

Por otro lado, los SAR permiten conocer el número exacto, proporción sexual y estadio de desarrollo de los peces, con lo que se calcula la biomasa exacta a lo largo del ciclo productivo permitiendo racionar el alimento y evitar que se reproduzcan de manera descontrolada, evitando la pérdida de potencial genético. Además, se facilita la detección oportuna de signos de enfermedad (Timmons y Losordo, 1994).

Adicionalmente, los SAR son compatibles con tecnologías amigables con el ambiente. Es posible implementar el cultivo de vegetales comestibles u ornamentales utilizando el agua que contienen los compuestos generados por los peces y que son necesarios para el desarrollo de las plantas ( $\text{NO}_3$ , principalmente). La estrategia es implementar una plataforma como una etapa de filtrado biológico final (Rakocy *et al.*, 1996). Por otro lado, en los SAR se puede utilizar agua de lluvia y energía generada en paneles solares o hélices eólicas (White *et al.*, 2004).

Finalmente, en los últimos años, ha sido motivo de investigación el funcionamiento, mejora tecnológica y el manejo de la calidad de agua mediante el uso de los SAR (Hernández *et al.*, 2009). Han sido empleados principalmente en el cultivo de especies comestibles tales como *Rachycentron canadum* (Faulk y Holt, 2005); tilapia, *Oreochromis niloticus* (Losordo, 1997); bagre, *Ictalurus punctatus* (Miller y Libey, 1984); salmón, *Oncorhynchus mykiss* (Heinen *et al.*, 1996), entre otros. En peces ornamentales existe un número reducido y disperso de trabajos con las especies: carpa dorada, *Carassius auratus*; ciclido azul, *Pseudotropheus* spp; pez cola de espada, *Xiphophorus* spp, y barbos, *Barbus* spp. (Ng *et al.*, 1992); guppy, *Poecilia reticulata* (Kaiser *et al.*, 1998); carpa koi, *Cyprinus carpio* (Karakatsoul *et al.*, 2010); cíclido Oscar, *Astronotus ocellatus* (Martínez *et al.*, 2010c); y pacú, *Piaractus mesopotamicus* (Domínguez-Castanedo y Martínez-Espinosa, 2012).

En el estado de Morelos ya se cultivan comercialmente en SAR especies como el combatiente, *Betta splendens*; gourami azul, *Trichogaster trichopterus*; pez cebra, *Brachydanio rerio*; pacú, *Piaractus mesopotamicus*; tetra negro, *Gymnocorymbus ternetzi*; barbo tigre, *Puntius tetrazona*; pez cola de espada, *Xiphophorus helleri* y guppy, *Poecilia reticulata*; número aún reducido del total de especies cultivadas actualmente en el estado (observación personal). El cultivo se realiza con densidades muy por debajo de las propuestas por Losordo (1997) para el cultivo en SAR, mostrando buenos resultados, pero también, dejando al descubierto la necesidad de adecuar las características de dichos sistemas de cultivo intensivo con los requerimientos propios de los peces de ornato.

## Problemáticas asociadas a la implementación de los SAR

No obstante sus ventajas sobre los sistemas tradicionales de cultivo, los SAR se emplean sólo de forma parcial en las unidades de producción del estado de Morelos, la causa principal es el costo del equipo y de su operación. Los SAR son equipos más costosos que la estanquería rústica, requieren de materiales onerosos para su construcción y de servicios de apoyo para funcionar. Un elevado número de unidades de producción en el estado no cuentan con corriente eléctrica ni la posibilidad de obtenerla a corto plazo. Además, las granjas que sí cuentan con este recurso, ven en la instalación de los SAR una desventaja que les incrementa los costos de producción. Por otro lado, es deseable la adquisición de plantas de emergencia, pues con las densidades manejadas en los SAR, los peces mueren en pocos minutos por la falta de oxígeno y filtración proporcionados por la corriente eléctrica (Wheaton, 1991; Losordo y Westerman, 1994; Losordo *et al.*, 1998; Timmons y Ebeling, 2007; Jenner, 2010).

Los productores necesitan estar capacitados para instalar, utilizar y mantener estas unidades, así como para solucionar problemas de forma total y correcta en el uso de SAR (Masser *et al.*, 1999; Flimlin *et al.*, 2008). Muchos de ellos no cuentan con los recursos para capacitarse, mientras que en otros casos son engañados y defraudados debido a su ignorancia; se les prometen rendimientos extraordinarios, imposibles de alcanzar con la implementación de los SAR en las condiciones imperantes de los productores morelenses (Arturo Cárdenas, comunicación personal).

Adicionalmente, los productores de peces ornamentales del estado de Morelos son en un gran porcentaje campesinos que trabajan sus unidades semiintensivas empíricamente (Martínez *et al.*, 2004), con una intervención mínima en el proceso, en contraste con el uso de SAR, donde se necesita que el productor dedique más tiempo y trabajo (Masser *et al.*, 1999). En muchos casos, los acuicultores obtienen ganancias suficientes para sostener el estilo de vida que ellos conocen, y al no tener grandes expectativas de crecimiento se convierte en una opción poco atractiva dedicar mayores recursos, esfuerzo y tiempo a su producción.

Por otro lado, dado que los SAR permiten incrementar la biomasa de cultivo, también aumenta drásticamente el volumen de desechos; que de no contemplarse esta situación se genera una cantidad tal de remanentes que los ecosistemas no pueden metabolizar, generando así un impacto ambiental (Piedrahita, 2003).

Otra situación común es que los parámetros de calidad de agua fluctúen fuera de los rangos aceptables antes de que los peces lleguen a la talla comercial, en ocasiones, sin haber rebasado la capacidad de carga máxima, poniéndolos en peligro u obligando a cambiar el agua de los estanques antes de terminar el ciclo productivo (Domínguez-Castanedo y Martínez-Espinosa, 2012). Es por ello, crucial, conocer la capacidad de carga del sistema, así como contar con equipos para el monitoreo de los parámetros de calidad de agua de forma permanente.

Finalmente, los SAR (principalmente los modelos comerciales disponibles al alcance económico de los productores de Morelos) no permiten cultivar cualquier especie, ya que el diseño de sus componentes está dirigido para albergar peces grandes (destinados para consumo humano), dificultando o imposibilitando (de no realizar modificaciones) su uso con especies pequeñas, principal característica de la mayor parte del catálogo de peces ornamentales cultivados en el estado de Morelos (Martínez *et al.*, 2009).

Éstas son las principales razones por las que los SAR no se han introducido de forma generalizada en las unidades productivas en el estado de Morelos; problemas difíciles de solucionar, pues existen múltiples factores asociados a esta problemática (Martínez *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2010a; Ramírez *et al.*, 2010):

- a) La producción estatal no posee diversidad en la oferta de especies, lo que provoca que los productores compitan entre sí por el mercado.
- b) Los bajos precios en los peces producidos.
- c) La poca rentabilidad actual de la actividad.

- d) La existencia de grupos de productores que persiguen intereses diferentes.
- e) La concentración de la producción en pocas unidades productivas.
- f) El nulo ordenamiento del sector fomentado por el gobierno y la presencia de grupos que estafan a los productores.

## CONCLUSIONES

El sector acuícola de peces ornamentales tiene un camino difícil para lograr que su proceso sea sustentable, ya que los SAR sólo contribuyen en una pequeña parte en su mejoría. Dadas las condiciones actuales en las que operan las granjas, no se cuenta con los recursos suficientes para la adquisición y puesta en marcha de estos sistemas, mientras que las pocas granjas que sí cuentan con los recursos, se encuentran con problemas de falta de energía eléctrica, capacitación o la competencia por la poca oferta, ocasionando la caída en los precios de los peces. Por lo que, la sola implementación (con todo lo que esto significa) de los SAR no genera un impacto determinante en el camino hacia la acuicultura sustentable en el estado de Morelos, tan solo se continúa hablando de impactos potenciales, ya que a pesar de la gran promesa que representan para los productores, se debe primero alcanzar a comprender lo complejo que resulta cambiar un sistema productivo tradicional, para después crear las condiciones económicas y sociales necesarias para la correcta implementación de esta tecnología. Además, es cardinal que exista interés legítimo y permanente en la participación y regulación gubernamental, para solventar las necesidades de adquisición y capacitación de una de las actividades más productivas y representativas del estado. Asimismo, es necesario aumentar el grado de intervención y presencia de las universidades, primero, en la generación de conocimiento científico multidisciplinario congruente a las necesidades imperantes, para después extenderlo a los productores en soluciones integrales como el diseño y construcción de

SAR a costos accesibles y acordes a sus necesidades, además de la impartición de cursos de capacitación, permitiendo su capitalización y, por consiguiente, la perpetuidad de esta actividad a través del tiempo, pero no a costa de los ecosistemas.

## AGRADECIMIENTOS

Dedicado a la memoria de Dolores Duk Lahut (†). Agradezco a Liliana García Calva, Bruno A. Marichal Cancino y Miguel A. Mosqueda Cabrera por sus consejos para mejorar este manuscrito. A Francisco Juárez Salas por la elaboración del abstract y a Luis Arturo García Hernández por su apoyo y motivación para la publicación del presente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arredondo, L. *et al.*, 1996, "Descripción, operación y resultados de un sistema de recirculación cerrado para acuicultura", en *Contactos México* 18: 33-38.
- Bassleer, G., 1994, "The international trade in aquarium ornamental fish", en *Infofish International* 5:15-17.
- Boyd, E., 1982, *Water Quality Management for Pound Fish Culture*, Elsevier, Amsterdam.
- Brister, J. y A. Kapuscinski., 2000, *Organic Aquaculture: A new wave of the future*, The Institute for Social, Economic and Ecological Sustainability, University of Minnesota, Minnesota.
- Challenger, A., 1998, *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología-UNAM, Agrupación Sierra Madre S. C., México.
- Chen, S. *et al.*, 1993, "Production, characteristics and modeling of aquaculture sludge from a recirculating aquaculture system using a

- granular media biofilter”, en Wang, K. (comp.), *Techniques for modern aquaculture*, St. Joseph, MI, American Soc. of Agr. Eng.
- Cline, D., 2005, Constructing a simple and inexpensive recirculating aquaculture system (RAS) for classroom use, SRAC Publication No. 4501, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (Conapesca), 2005, *Anuario 2005*, en <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>, consultado el 22/09/2011.
- Domínguez, O. y D. Martínez, 2012, “Desempeño de los Sistemas Acuícolas de Recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Pisces: Characidae)”, en *Revista Biología Tropical* 60(1): 381-391.
- Eshchar, M. *et al.*, 2006, “Intensive fish culture at high ammonium and low pH”, en *Aquaculture* 255: 301-313.
- Faulk, C. y G. Holt, 2005, “Advances in rearing cobia *Rachycentron canadum* larvae in recirculating aquaculture systems: Live prey enrichment and greenwater culture”, en *Aquaculture* 249(1-4): 231-243.
- Flimlin, G. *et al.*, 2008, *Aquaculture systems for the Northeast*, NRAC Publication No. 104, The Northeastern Regional Aquaculture Center, University of Maryland, College Park, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Gatesoupe, F., 1999, “The use of probiotics in aquaculture”, en *Aquaculture* 180(1-2): 147-165.
- Heinen, J. *et al.*, 1996, “A Semiclosed Recirculating-Water System for High-Density Culture of Rainbow Trout”, en *The Progressive Fish-Culturist* 58(1):11-22.
- Hernández, C. *et al.*, 2009, “Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México”, en *Revista Mexicana de Agronegocios* 25(8): 117-130.



- Jenner, A., 2010, "Los sistemas de recirculación en acuicultura: ¿el futuro de la piscicultura?", en *Revista Panorama Acuícola* 15(3):32-34.
- Kaiser, H. *et al.*, 1998, "Water quality fluctuations in a closed recirculating system for the intensive culture of the guppy, *Poecilia reticulata* (Peters)", en *Aquaculture research* 29(8): 611-615.
- Karakatsouli, N. *et al.*, 2010, "Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared under recirculating system conditions", en *Aquaculture Engineering* 42(7): 124-127.
- Lasur, A. y C. Britt, 1997, *Pond recirculating production systems*, SRAC Publication No. 455, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Lazur, A. y C. Deborah, 1997, *Pond Recirculating Production Systems*, SRAC Publication No. 455, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Losordo, M. y P. Westerman, 1994, "An Analysis of biological, economic, and engineering factors affecting the cost of fish production in recirculating aquaculture systems", en *Journal of the world aquaculture systems* 25(2): 193-203 .
- Losordo, M., 1997, "Tilapia culture in intensive recirculating systems", en Costa, B. y J. Rokocy, (comp.), *Tilapia Aquaculture in the Americas*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Los Angeles.
- Losordo, M. *et al.*, 1998, *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. An Overview of Critical Considerations*, SRAC Publication No. 451, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Mancera, J. y R. Álvarez, 2008, "Comercio de peces ornamentales en Colombia", en *Acta Bilógica Colombiana* 13(1): 23-52.



- Martínez, D. *et al.*, 2004, "Análisis retrospectivo de la piscicultura de ornato en el estado de Morelos", en *Sociedades Rurales Producción y Medio Ambiente* 5(8): 69-75.
- Martínez, D. *et al.*, 2007, *Análisis comparativo de dos estrategias de producción acuícola en unidades ejidales del estado de Morelos*, Serie Académicos, CBS, núm. 77, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
- Martínez, D. *et al.*, 2009, *Plan Rector para la piscicultura de ornato del Estado de Morelos*, Sagarpa, Documento de circulación interna, restringida por convenio.
- Martínez, D. *et al.*, 2010a, "Estructura de la producción de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10(20): 15-36.
- Martínez, D. *et al.*, 2010b, Depredación de peces de ornato por aves silvestres en una granja productora en Morelos, México, XII Congreso Nacional de Ictiología, Nayarit, Méx. 26-29 octubre 2010, Sociedad Ictiológica Mexicana.
- Martínez, D. *et al.*, 2010c, Evaluación del crecimiento de *Astronotus ocellatus* con suplemento de probióticos en sistemas acuícolas de recirculación verticales, XII Congreso Nacional de Ictiología, Nayarit, Méx. 26-29 octubre 2010, Sociedad Ictiológica Mexicana.
- Masser, P. *et al.*, 1999, *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems*, SRAC Publication No. 452, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Miller, E. y G. Libey, 1984, "Evaluation of a trickling biofilter in a recirculating aquaculture system containing channel catfish", en *Aquaculture* 3(1): 39-57.
- Murillo, C., 1997, *Desarrollo Sostenible: el gran reto para el próximo milenio*. El concepto de desarrollo sostenible; dimensiones economi-

- ca, social y ambiental, Curso organizado por el proyecto de apoyo al sistema para el desarrollo sostenible, Banco Interamericano de Desarrollo, San José Costa Rica, BID, citado por Brunett, P. L. *et al.*, 2006, "La agroecología como paradigma para el diseño de la agricultura sustentable y metodologías para su evaluación", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 6(12): 83-109.
- Naylor, L. *et al.*, 2000, "Effect of aquaculture on world fish supplies", en *Nature* 405(29): 1017-1024.
- Neori, A. *et al.*, 2000, "A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone", en *Aquaculture* 186(3-4): 279-291.
- Ng, J. *et al.*, 1992, "Water quality within a recirculating system for tropical ornamental fish culture", en *Aquaculture* 103(2): 123-134.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2010, *Estado Actual de la Pesca y la Acuicultura*, Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, Roma.
- Piedrahita, H., 1991, "Modeling water quality in aquaculture systems", en Brune, E. y J. Tomasso (comps.), *Aquaculture and Water Quality*, Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society.
- Piedrahita, H., 2003, "Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation", en *Aquaculture* 226: 35-44.
- Pillay, R., 1992, *Aquaculture and the Environment*, Wiley, New York.
- Rakocy, J. *et al.*, 1996, *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture*, SRAC núm. 454, Southern Regional Aquaculture Center, The United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education and Extension Service, EUA.
- Ramírez, C. *et al.*, 2010, *Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato en México*. Libros Universitarios, Universidad Autónoma de Nuevo León e Instituto Nacional de Pesca, México.

- Schuster, C. y H. Stelz, 1998, "Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems", en *Aquaculture Engineering* 17: 167-174.
- Singh, S., 2002, *Introduction to the Sustainable Development Concept in Fisheries*, FAO, Fisheries Report núm. 683, Supplement, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Summerfelt, T., 1999, "Waste-handling systems", en Wheaton, W. (comp.), *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Thia, Ch., 1997, "Sustainable aquaculture and integred coastal management", en Bardach, J. (comp.), *Sustainable aquaculture*, Library of Congress, EUA.
- Timmons, M. y T. Losordo, 1994, *Aquaculture water reuse systems: engineering design and management*, El Sevier, EUA.
- Timmons, M., 2005, "Competitive potential for USA urban aquaculture", en Costa, B. et al. (comp.), *Urban Aquaculture*, CABI Publishing, Cambridge, MA.
- Timmons, M. y J. Ebeling, 2007, *Recirculating Aquaculture*, NRAC Publication núm. 01-007, Nueva York.
- Vinatea, L., 2002, *Principios químicos de calidad del agua en acuicultura*, Manual, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Wheaton, F., 1991, Partial recycling system design, Proceedings of the world aquaculture society annual meeting, Puerto Rico, 16-20 junio, Puerto Rico, American Society of Agricultural Engineers.
- White, K. et al., 2004, *At a Crossroads: Will Aquaculture Fulfill the Promise of the Blue Revolution?*, The Seaweb Aquaculture Clearinghouse Report, en <http://www.aquacultureclearinghouse.org>, consultado el 14/12/2011.
- Zambrano, L. et al., 2010, "Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City", en *Biological Invasions* 12: 3061-3069.

