

EL SISTEMA ACUÍCOLA DE RECICLAJE INTEGRAL (SARI), UN CIRCUITO CERRADO QUE CONTIENE UN ECOSISTEMA COMPUESTO DE PECES Y PLANCTON

Sylvain Gilles¹, Rosa Ismiño², Christian Fernandez¹, Rémi Dugué¹, François Kervarec¹, Jean François Renno¹, Jesús Nuñez¹

1 Institut de Recherche pour le Développement – IRD – Francia.

2 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP – Perú.

INTRODUCCIÓN

Los circuitos cerrados van a tener una gran importancia en el desarrollo de la acuicultura en Amazonía central que no tiene suministro de agua con gravedad por falta de relieve, lo que permite un ahorro importante de energía por bombeo reusando el agua de cría. Con ellos se puede colocar una producción acuícola en cualquier sitio utilizando las capas freáticas y permiten también, aislando las granjas, evitar introducciones de agentes patógenos en las crías, y recíprocamente contaminaciones de la biodiversidad genética del medio natural. Los circuitos cerrados clásicos funcionan en agua clara con filtros que sacan los heces del sistema (físicos) y otros que transforman la orina (amoniaco) en nitratos que no son tóxicos (biológicos).

La Acuicultura MultiTrófica Integrada (AMTI), es una práctica en la que los desechos de una especie son reciclados para convertirse en aportes (fertilizantes, alimentos) para otra (Chopin, 2006). “Multitrófica” se refiere a la incorporación de especies de diferentes niveles tróficos o nutricional es en el mismo sistema. Se puede combinar el principio del circuito cerrado con la AMTI ligando volúmenes de cría intensiva con otros de cría extensiva que funcionan como unidades de depuración del agua. Se puede usar agua verde con el fitoplancton estableciendo un mutualismo con los peces: las algas depuran el agua de la excreción de los peces y les llevan oxígeno con la fotosíntesis, los peces dan nutrientes y CO₂ al fitoplancton (Gilles et al., 2008). Y además, el utilizar peces detritívoros permite mineralizar las algas que mueren y se sedimentan, y así mantener el “bloom” fitoplanctónico (McQueen et al., 1986; Drenner et al., 1987; Lazaro, 1987; Northcote, 1988; Elser et al., 1990). Pero cuando se añade alimento en el sistema para obtener un crecimiento de los peces la densidad fitoplanctónica aumenta y tiene que ser regulada para evitar un hundimiento de la población de algas debido a la alta concentración (Rimon y Shilo, 1982).

Dos tipos representativos de esos circuitos cerrados en agua verde han sido desarrollados usando dispositivos periódicos o permanentes de extracción del fitoplancton. El Dekel Aquaculture System, en el cual, el agua de cría es eliminada fuera del sistema al final del ciclo, y tiene que ser renovada para el ciclo siguiente (Mires et al, 1990, Mires y Amit, 1992). Y el Partitioned Aquaculture System (PAS) donde el fitoplancton es cosechado continuamente con un filtro rotativo (Drapcho y Brune, 2000; Brune et al., 2001 and 2003).

Nosotros, en el centro IRD de Mbour hemos desarrollado entre 2003 a 2009 un sistema que no necesita extraer el fitoplancton, con un primer prototipo ubicado en Senegal a

orillas del Atlántico (Gilles et al, en prensa). El cual funciona con un circuito cerrado de 60 m³ albergando un ecosistema simple donde el fitoplancton es consumido por zooplancton, por lo que su crecimiento está controlado. Este consumo es realizado en un volumen colocado en derivación del circuito principal compuesto de una parte intensiva donde los peces son alimentados, ligada a una parte extensiva donde los peces consumen los desechos y crece el fitoplancton. El volumen dedicado al cultivo del zooplancton opera con rellenos de agua verde y vacíos sucesivos, como un pulmón. El zooplancton reintroducido en el circuito es consumido por los peces, sobre todo por los alevinos. Este prototipo ha funcionado en agua salobre (15 ppm) con la tilapia eurialina *Sarotherodon melanotheron heudelotii* y tuvo colonización natural y exclusiva del alga *Chlorella* sp (*Nannochloris*) y el rotífero *Brachionus plicatilis*. La productividad del prototipo es de 18.5 ton/ha/año con una tasa de conversión del alimento de 1.69. No se han realizado recambios de agua, solo se ha compensado la evaporación. Según la concentración algal, el sedimento depositado en el volumen de producción zooplanctónica era rechazado del sistema, sea reintroducido en el circuito principal. Era la única desperdición de materia orgánica.

En la actualidad, un segundo prototipo de este sistema de cría funciona ahora en el centro del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en Iquitos, Perú. Es un circuito cerrado de 10 m³ de volumen total, dedicado a la cría de larvas y la producción de juveniles de la doncella, *Pseudoplatystoma punctifer* (*fasciatum*), o de otras especies de bagre. El objetivo con su uso es proponer un circuito cerrado en agua verde de tamaño de cría comparable al que ya funciona en la estación del IIAP (programa Aquarec) en agua clara. Así se podrá tener una comparación muy instructiva entre los funcionamientos de los dos tipos de circuito cerrado (Figura 1).

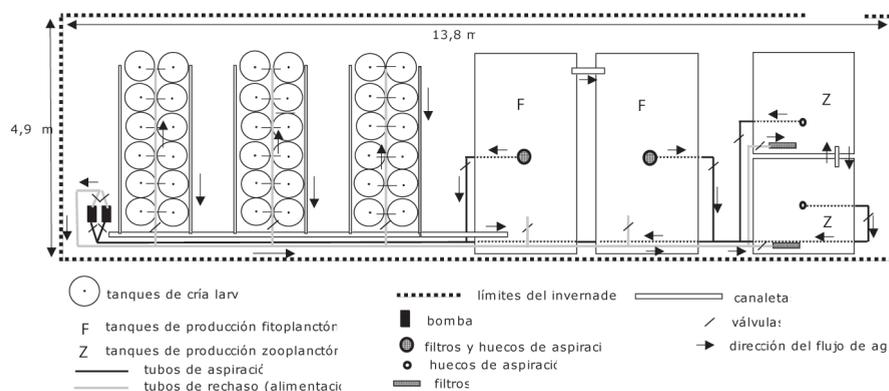


Figura 1. Descripción gráfica del circuito SARI instalado en Quisto Cocha en la sede del IIAP en Iquitos

Este circuito en agua verde fue colonizado al principio de su funcionamiento (enero 2011), por un alga verde del género *Golinkinia*, el cual tiene espinas, puede alcanzar diámetro de 50 μ y tapa fácilmente los filtros de 200 μ necesarios en los primeros días de cría de *P. punctifer*. Así los primeros ensayos sobre su funcionamiento fueron hechos con peces ya juveniles y también adultos, los cuales se describen en este artículo que presenta la adaptación de *P. punctifer* a este nuevo tipo de circuito cerrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del prototipo: El circuito cerrado se compone de un volumen de cría larval, dividido en 36 tanques de 30 litros (1080 l en total) asociado a un volumen de depuración del agua con una proporción aproximada de 1 a 9. El volumen total de depuración es de 9 m³, dividido en 4 artesas (tanques), con 50 cm de profundidad, la superficie de depuración es de 18 m² (Figura 1). Dos artesas de 3 m³ cada una son dedicadas a la mineralización de los desechos orgánicos y la producción fitoplanctónica (F en la Figura 1), otras dos de 1.5 m³ son dedicadas a la producción zooplanctónica (Z en la Figura 1). En el volumen de depuración F, se mantienen peces detritívoros que comen los desechos de la cría larval (heces, alimento en exceso), y también que comen el fitoplancton sedimentado. En el volumen de depuración Z no hay peces detritívoros y se produce zooplancton que regula la biomasa fitoplanctónica en exceso.

Los tanques de cría larval y las artesas F constituyen el circuito principal que funciona permanentemente. Esos volúmenes se vacían únicamente para cosechar los peces al final del ciclo de cría. Las artesas Z son colocadas en derivación del circuito principal, y funcionan con rellenos y drenajes sucesivos. Esas dos artesas tienen una comunicación entre ellas para poder hacer siembras recíprocas en zooplancton.

El volumen total de circuito es 10.8 m³. Las bombas de circulación del agua, que funcionan alternativamente, tienen un caudal de 5 m³/h. Así el volumen de cría larval puede tener un recambio promedio de agua del 500%/h y el de depuración (tanques 1 y 2) de 90%/h. Columnas de “desgaseo” colocadas en el suministro del agua de los tanques de depuración, permiten regularizar los gases disueltos, notablemente el O₂ y el CO₂.

Seguimiento de los parámetros físico químicos: La temperatura del agua (°C), la concentración del oxígeno disuelto y el pH son medidos en el circuito dos veces al día (6am y 3pm) usando oxímetro CyberScan DO 300/310; Hanna HI 9025 pH meter. El nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺ + N-NH₃) los nitritos (NO₂⁻) y los nitratos (NO₃⁻) son medidos con un fotómetro Hanna HI 83203 una vez al día (3pm). La luz es medida cada diez segundos (Wh/m²/día) con un pyranómetro SP-Lite de marca Kipp & Zonen (Delft, The Netherlands).

Material biológico: Se trabajó con *Pseudoplatystoma punctifer* con juveniles nacidos el 22 de enero de 2011. Los peces detritívoros escogidos para tener el papel de mineralización en los tanques 1 y 2 (depuración) pertenecen a la familia Loricariidae con las especies siguientes: *Pterygoplichthys scroplus*, *Pseudorinelepis genibarbis*, *Hypostomus enmarginatus*, *Glyptoperichthys sp* y *Ancistrus sp*.

Seguimiento de los parámetros biológicos: La concentración en fitoplancton fue medida una vez al día por colorimetría con el fotómetro Hanna (420-nm) estableciendo una relación entre la densidad óptica (DO) y la densidad algal (DA- *Golenkinia sp*) medida con la célula de Malassez usando un microscopio Olympus CX41 (x20 magnificación) según la ecuación:

$$DA = 159452e0.9333DO, R2 = 0.9957, gl = 3$$



La concentración en zooplancton (ind/ml) fue determinada con conteos usando un OLYMPUS SZX9/12 stereomicroscope (después de añadir 5% formaldehído) mediante 12 conteos hechos en muestras de 50µl entre las cuales la más alta y la más baja medida es rechazada.

Periodos de estudio: Se realizaron tres períodos de estudio: 16 de mayo al 30 de junio, 23 de agosto a 22 de septiembre y 22 de setiembre a 4 de noviembre de 2011.

Protocolos de crías de preengorde y de engorde: Durante los dos primeros ensayos doce juveniles de *P. punctifer* fueron colocados individualmente en los tanques de 40 litros. Durante el tercer ensayo nueve juveniles fueron agrupados en una jaula de 0.234 m³ colocada en el primer tanque de depuración.

Alimentación de los peces y seguimiento al crecimiento: Las tasas de alimentación diaria según los experimentos fueron: 10, 7 y 5% con un alimento flotante de 45% de proteína. Las densidades de cría fueron: 1, 5 y 10 Kg/m³. Se evaluó el desempeño con el índice de crecimiento diario (ICD):

$(Pf1/3 - Pi1/3) * T^{-1} * 100$, donde Pf: peso final, Pi: peso inicial,

T : duración del período en días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los tres ensayos no ocurrió ningún recambio de agua ni eliminación de la materia orgánica, el reciclaje fue total. Los parámetros físico-químicos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos presentados en rutina en la mañana y tarde. NAT: nitrógeno amoniacal total.

Variable	Mínimo (am)	Máximo (pm)
O ₂ disuelto	6.45	10.63
Temperatura	25.3	31.9
pH	6.83	9.95
Luz solar	461	1395
NAT	<0.15	
NO ₂	<0.02	
NO ₃	= 0	

El fitoplancton naturalmente sembrado, que rápidamente dominó el medio de manera casi exclusiva pertenece al género *Golenkinia*, eliminando otras algas de los géneros *Scenedesnus* y *Chlorella*, con una concentración que varió de 2.86x10⁵ a 3.59x10⁶ cé-

lulas/ml. Esta variación importante nunca ha afectado los parámetros físicos y químicos ni la producción de oxígeno.

El zooplancton que se adaptó a la presencia de *Golenkinia* pertenece a los Cladóceros (*Mohina* sp) y también a la familia de los copépodos. La concentración zooplanctónica en los tanques Z fue inestable y no intervino realmente en la regulación del fitoplancton. Esta regulación fue realizada por peces detritívoros que comieron la totalidad de las algas que sedimentaron, estos peces han crecido y se han reproducido en los tanques de depuración. También los guppis se han reproducido fácilmente. Los resultados de la cría, se pueden leer en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del proceso de cría para los tres ensayos realizados

Temporadas	1	2	3
Duración(días)	44	29	40
Pi y Pf promedio (g)	10-23	90-148	148-255
Tasa Conversión Alimento	3.5	2.6	1.1
ICD	1.52	2.77	2.82

¿Por qué ocurrió el establecimiento casi exclusivo de las algas *Golenkinias*? Esas algas con espinas no son consumidas por los rotíferos (*Trichocerca* sp) y también por zooplancton más pequeño. Los copépodos y los cladóceros comen las *Golenkinias*, pero parece ser que esas algas no permiten el establecimiento permanente de este zooplancton. El nivel de concentración en *Golenkinia* se mantuvo constante sin la intervención del zooplancton.

Parece más difícil establecer *Chlorella* en agua dulce que en agua salobre. Por lo que a futuro, se va a intentar mantener este tipo de algas (como se trabajó en Senegal), que son más pequeñas y de mejor desempeño y no tienen espinas. Con el manejo de esta alga el objetivo es contar con rotíferos que es el zooplancton que se desarrolla muy rápidamente y que luego será comido por las larvas y alevinos de *P. punctifer*.

¿Porque hemos tenido resultados muy diferentes en los tres ensayos? El espacio en la jaula y también la presencia de los congéneres ha podido ser determinante. La tasa de conversión muy buena del ensayo 3 puede explicarse por el hecho que las doncellas en la jaula tenían la posibilidad de comer los guppis que entraban en la misma.

CONCLUSIÓN

El reciclaje del agua y de la materia orgánica fue total durante los ensayos de aproximadamente un mes. La buena adaptación al sistema de *P. punctifer* y de los Loricariidae queda demostrada. Pero hay que validar el funcionamiento del sistema y su estabilidad sobre una temporada bastante larga antes de hacer una transferencia hacia el sector privado.



Será posible tener un mejoramiento de la rentabilidad del sistema de circuito cerrado en agua verde con el ecosistema actual, para el preengorde y el engorde de la doncella, utilizando al mínimo las bombas de circulación del agua y solamente durante los períodos indispensables.

REFERENCIAS

Brune DE, Reed S, Schwartz G and Collier J 2001. High rate algal systems for aquaculture. *AES Issues Forum*, 81-110.

Chopin T. 2006. *Integrated multi-trophic aquaculture. What it is, and why you should care... and don't confuse it with polyculture. Northern Aquaculture, Vol. 12, No. 4, July/August 2006, pg. 4.*

Drapcho CM and Brune DE 2000. *The Partitioned Aquaculture System: Impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. Aquacultural Engineering 21, 151-168.*

Drenner RW, Hambright KD, Vinyard GL, Gophen M and Pollinger U 1987. *Experimental study of size-selective phytoplankton grazing by a filter-feeding cichlid and the cichlid's effects on plankton community structure. Limnology and Oceanography 32, 1138-1144.*

Elser JJ, Marzolf E and Goldman CR 1990. *The roles of phosphorus and nitrogen in limiting phytoplankton growth in freshwaters: a review of experimental enrichments. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 47, 1468-1477.*

Gilles S, Lacroix G, Corbin D, Bâ N, Ibañez Luna C, Nandjui J, Ouattara A, Ouédraogo O and Lazzaro X 2008. *Mutualism between euryhaline tilapia *Sarotherodon melanotheiron heudelotii* and *Chlorella* sp. – implications for nano-algal production in warm water phytoplankton-based recirculating systems. Aquacultural Engineering 39, 113-121.*

Lazzaro X 1987. *A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. Hydrobiologia 146, 97-167.*

Mires D, Amit Y, Avnimelech Y and Diab S, Cochaba M 1990. *Water quality in a recycled intensive fish culture system under field conditions. Bamidgeh 42, 110-121.*

Mires D and Amit Y 1992. *Intensive culture of tilapia in quasi-closed water-cycled flow-through ponds – the Dekel Aquaculture system. Bamidgeh, 44, 82-86.*

Northcote TG 1988. *Fish in the structure and function of freshwater ecosystems: A "top-down" view. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45, 361-379.*

Rimon A and Shilo M 1982. *Factors which affect the intensification of fish breeding in Israel. Bamidgeh 34, 87-100*