

EVALUACIÓN DEL POLICULTIVO DE BOCACHICO *Prochilodus magdalenae* Y TILAPIA *Oreochromis niloticus* UTILIZANDO SUPERFICIES FIJADORAS DE PERIFITON

J. J. García¹, L. M. Celis², E. L. Villalba², L. C. Mendoza², S. B. Brú², V. J. Atencio², S. C. Pardo^{1}*

Artículo recibido: 21 de julio de 2011; aprobado: 31 de octubre de 2011

RESUMEN

La piscicultura es una actividad importante para satisfacer la demanda alimenticia de una población en crecimiento y en su práctica es necesario desarrollar tecnologías responsables con el ambiente. El policultivo de tilapia-bocachico es relevante por la importancia de estas especies a nivel nacional; tilapia por sus características zootécnicas, y bocachico por su hábito alimentario detritívoro-iliófago, recientemente visto como un pez ecológico. El cultivo basado en perifiton permitiría un sistema altamente eficiente y más limpio, pues aporta alimento natural a los peces y mejora la calidad del agua. Para evaluar el efecto del perifiton sobre el desempeño del policultivo tilapia-bocachico, se ejecutó un experimento durante ocho meses en 18 estanques de 90 m², con 2,6 tilapias/m² y 0,7 bocachicos/m², sin fertilización; como sustrato para perifiton se instalaron de forma vertical tubos plásticos (3,3 tubos/m²), que se constituyeron en una variable por evaluar. Adicionalmente, tres estrategias alimentarias fueron evaluadas: 0 (sin alimento), alimentación con ración del 20% de proteína bruta (PB) y alimentación con ración del 25% de PB. Se utilizó un diseño factorial 2x3 en bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento y se analizaron datos productivos mediante ANOVA con un modelo lineal general ($P < 0,05$). No fueron encontrados efectos del sustrato sobre los parámetros estudiados. Hubo efectos simples de la estrategia alimentaria sobre el desempeño de los peces. Por lo pronto, puede ser concluido que la producción basada en perifiton no genera problemas en el sistema ni en los peces y que se requiere más investigación para consolidar la tecnología.

Palabras clave: detritívoro, omnívoros, perifiton, comunidades acuáticas, productividad primaria.

¹ Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Calle 59A nro. 63 – 20, Medellín (Colombia).

² Departamento de Ciencias Acuáticas, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Córdoba. Carrera 6ta nro. 76 – 103, Montería (Colombia).

* Autor para correspondencia: scpardoc@unal.edu.co.

EVALUATION OF THE POLYCULTURE OF BOCACHICO *Prochilodus magdalenae* AND TILAPIA *Oreochromis niloticus* USING PERIPHYTON FIXING SURFACES

ABSTRACT

Fishculture is very important to satisfy human food demand. However, the ignorance in more efficient and environment-friendly systems is a big problem for fish farming activities. Tilapia-Bocachico polyculture is of great interest; tilapia, for the excellent productive characteristics, and bocachico for being a bottom-feeder specie, beside of the great socio-cultural value in this region. An alternative approach is the adoption of periphyton-based pond systems; periphyton can be a food source for fish and improve water quality, thus becoming into a highly efficient and cleaner system. With the aim to evaluate the periphyton effects on performance of Tilapia-Bocachico polyculture, a trial was carried out for 8 months. Eighteen 90 m² earthen ponds were used under polyculture conditions at low stocking density (2.6 tilapia/m², 0.7 bocachico/m²). These ponds were not fertilized during the experimental period. Plastic tubes of 1.2 m and 6 cm in diameter were used vertically as periphyton substrate at 3.3 tubes/m² rate. Three alimentary strategies were used: 0 (without food), fish feed (20% protein) and fish feed (25% protein); thereby constituting a factorial experiment 2x3 in a randomized complete block with three replications per treatment. They were analyzed using ANOVA with a general linear model (GLM) ($p < 0.05$). There were no effects of substrates on the study variables, but simple effects of alimentary strategies on the productive parameters. Other parameters are being analyzed and it is still premature to conclude.

Key words: detritivore, omnivore, periphyton, aquatic communities, primary productivity.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad productiva orientada a la producción de alimento de origen acuático. Es además, una herramienta para la gestión del recurso hídrico y los organismos acuáticos, que utiliza conocimientos sobre biología, ingeniería y ecología, para ayudar a resolver los problemas de seguridad alimentaria y desarrollo rural mundial. Según la clase de organismos que se cultivan, se ha dividido en varios tipos, de los cuales uno de los más desarrollados es la piscicultura, y dentro de ella, actualmente, uno de los cultivos de mayor importancia es el de la tilapia; en Colombia, este grupo (*Oreochromis niloticus* y *Oreochro-*

mis sp) es el principal producto de la piscicultura, pues representa más del 50% de la producción anual (CCI 2009). Por su parte, el bocachico *Prochilodus magdalenae*, es una de las principales especies de la pesquería continental colombiana (CCI 2006), con características favorables para el cultivo responsable en estanques.

El desarrollo de una piscicultura más limpia es importante para el fortalecimiento de la industria y en la protección del medio ambiente, ya que propende por mantener su entorno, vital para su desarrollo, y a su vez, conquista nuevos sectores de mercado. Sin embargo, el desconocimiento de técnicas y procedi-

mientos más eficientes y amigables con el ambiente para el cultivo de peces se convierte en una restricción.

Una alternativa para desarrollar una producción más limpia es el uso de perifiton con policultivos. El perifiton es una comunidad compleja de microbiota sésil (algas, bacterias, hongos, insectos y detritus orgánico e inorgánico) que está adherida a un sustrato presente en cuerpos de agua pequeños o grandes y con condiciones desde oligotróficas hasta eutróficas (Azim y Asaeda 2005). El perifiton contribuye con la ecología del estanque al suministrar alimento para los peces, lo que disminuye la cantidad de alimento balanceado y el nivel proteico de la dieta que debe ser ofrecido al cultivo, mejorando la calidad del agua al absorber nutrientes que han sido excretados por los peces o mineralizados de los restos de alimento y de heces; consecuentemente, mejora la calidad del efluente que será evacuado al medio ambiente, todo lo cual se constituye en un sistema de producción más eficiente y limpio. Como el perifiton atrapa detritos orgánicos, remueve nutrientes de la columna de agua, y controla la concentración de oxígeno disuelto y el pH del agua (Dodds 2003; Bender et ál. 2004); así pues, se considera que los sistemas acuícolas que utilizan el perifiton son mejores desde los puntos de vista ecológico y económico (Azim et ál. 2005).

Los policultivos que incluyen peces nativos de hábitos detritívoros-iliófagos, como bocachico (Gneri y Angelescu 1951), tienen ventajas ecológicas y socioeconómicas. Ventajas ecológicas, porque el cultivo utiliza toda la columna de agua, incluido el fondo, para mejorar la dinámica trófica del estanque; ventajas sociales, porque va a proporcionar una

proteína adicional representada en la carne de pescado para mejorar la seguridad alimentaria; y ventajas económicas, porque reducirá el costo del alimento del cultivo, lo que representa más del 60% del costo de producción en la mayoría de sistemas empleados (Espinal et ál. 2005). Por lo tanto, el presente estudio se propuso evaluar el efecto del perifiton sobre el desempeño productivo del policultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* y bocachico *Prochilodus magdalenae*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en la empresa Piscícola Meléndez, ubicada en el Corregimiento Retiro de los Indios, Cereté (Colombia). El estudio se realizó en 18 estanques de 90 m² cada uno. Se utilizaron alevinos de tilapia nilotica *Oreochromis niloticus*, variedad Chitralada, adquiridos a una empresa del sector con la garantía de homogeneidad y alto porcentaje de reversión sexual. Los alevinos de bocachico *Prochilodus magdalenae* fueron suministrados por el Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba CINPIC.

Se evaluó durante ocho meses un sistema semi-intensivo, con densidad de carga máxima de 2 kg/m² al final del cultivo; en cada una de las unidades experimentales, se sembraron 234 tilapias y 63 bocachicos con un peso inicial promedio de 1 g. Se evaluaron dos factores: el factor A, correspondió a la estrategia alimentaria (A1: sin alimento; A2: alimento del 20% de proteína bruta (PB) y A3: alimento del 25% de PB) y el factor B, fue la presencia (B1) o ausencia (B2) de sustrato para fijación del perifiton, tras lo cual quedó conformado un arreglo factorial de 3 x 2 con tres repeticiones para un total de 18 unidades ex-

perimentales. El suministro del alimento se realizó iniciando con una tasa de alimentación del 12% de la biomasa del cultivo y se disminuyó progresivamente de acuerdo con el peso promedio hasta llegar a suministrar 1,1%.

En los estanques a los que correspondió tener sustrato para perifiton se instalaron tubos de polietileno negro a razón de 3,3 tubos/m², con un diámetro de 6 cm y una longitud de 1,2 m, quedando sumergido un metro. Esta densidad de tubos aportó un área adicional al área del estanque del 67% (para estos cálculos fueron consideradas las superficies efectivas del estanque, cuatro taludes y fondo, y se determinó la superficie que aportaban los 300 tubos por estanque). Los tubos se instalaron colgados de cuerdas de alambre para que quedaran sumergidos en forma vertical.

Cada día se determinó el oxígeno disuelto (mg/L) y la temperatura (°C) con un oxigenómetro digital (YSI, 550A, USA), el pH con pH-metro digital (YSI, pH100, USA) y la transparencia con disco Secchi. Exceptuando la temperatura, de la cual se obtuvo un promedio general para cada una de las unidades experimentales, los valores recolectados de los anteriores parámetros fueron promediados hasta obtener datos mensuales (tiempo). Cada quince días se determinaron amonio total, fosfato y nitrato con kits de Spectroquant (Merck, USA), utilizando un espectrofotómetro (SPECTRONIC, Genesys 5, USA) con métodos estándar APHA (1999). Los valores quincenales también se promediaron hasta obtener datos mensuales. Cada mes se determinó la alcalinidad y dureza totales con kits de HACH (HACH, USA). Las mediciones se realizaron entre las 08:00 y 09:00 horas y entre las 17:00

y 18:00 horas, a una profundidad de 20 cm siempre en el mismo margen del estanque.

Mensualmente se tomaron muestras del 5-10% de la población de cada estanque para medir longitud estándar (LS) y peso total (WT) con un ictiómetro graduado en milímetros y una balanza eléctrica (Precisa, 5000D-12000G, USA ± 0.1 g). En la cosecha final se contaron los peces para determinar la sobrevivencia y biomasa total (kg) por estanque. La sobrevivencia final se estimó con la ecuación $S = 100 * (N_o / N_t)$, donde, N_o = Número de individuos sembrados y N_t = Número de individuos cosechados, mientras que la biomasa total al final del cultivo (B_t) se estimó mediante la fórmula $B_t = N_t * W_t$, en donde W_t = peso promedio de los individuos cosechados. La productividad se determinó dividiendo la biomasa total entre el área de los estanques y se expresó en kg/ha.

Para la conversión alimenticia de las especies en cultivo, se realizaron dos procedimientos; en el primero, se consideró solamente la conversión de la tilapia, relacionando la biomasa total de tilapia con el consumo total de alimento en el estanque, sin atribuir nada al bocachico. En el segundo, se consideró la conversión de todo el estanque, sumando a la biomasa total (tilapia + bocachico) y el consumo general en el estanque.

Análisis estadístico

Sobrevivencia (%), productividad (Kg/ha) y conversión alimenticia se evaluaron mediante ANOVA, usando el procedimiento GLM; mientras que los parámetros longitud estándar (cm), peso (g) y ganancia de peso diaria (g/día) se procesaron mediante análisis de medidas repetidas, usando el procedimiento

MIXED. Para el efecto, se evaluaron tres estructuras de covarianzas: simétrica compuesta, sin estructura y autorregresiva de primer orden. Se eligió un nivel de significancia del 5%; en los casos en que se hallaron diferencias significativas, se llevaron a cabo las correspondientes pruebas de Tukey.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores promedios mensuales (\pm desviación estándar) de los parámetros de calidad de agua determinados durante el cultivo.

Los parámetros productivos del cultivo fueron analizados de forma independiente para cada especie y se observó,

en forma general, que para ninguna de ellas hubo efectos de interacción entre los dos factores evaluados (AxB), ni con el tiempo (AxBxT) cuando se analizaron medidas repetidas en el tiempo. Fue una respuesta constante la interacción entre el factor A, el tiempo (AxT) y el efecto simple de A sobre los parámetros longitud estándar, peso, ganancia de peso (para bocachico), sobrevivencia y productividad (para tilapia) (tablas 2 y 3). Se observó que el perifiton solo se formó en los primeros diez centímetros del tubo sumergido, coincidiendo con los valores medios de la transparencia de los estanques. Como evidencia de consumo de perifiton por parte de los peces, se encontraron huellas de ramoneo en los tubos.

TABLA 1. Características de la calidad de agua durante el policultivo de tilapia y bocachico con sustrato para perifiton (promedio \pm desviación estándar).

PARÁMETRO	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
O ² disuelto (ppm)	2,5 \pm 0,3	4,4 \pm 0,3	4,0 \pm 0,6	4,1 \pm 1	3,6 \pm 1,6	3,3 \pm 1,7	3,7 \pm 1,7	3,6 \pm 1,3
pH	7,9 \pm 0,0	7,7 \pm 0,0	7,5 \pm 0,0	7,7 \pm 0,0	7,5 \pm 0,0	ND	ND	ND
Transparencia (cm) disco Secchi	11 \pm 1,1	11,8 \pm 1,0	12,7 \pm 3,0	11,0 \pm 1,9	11,7 \pm 2,7	12,1 \pm 2,5	11,5 \pm 2,1	11,6 \pm 2,3
Amonio total (ppm)	0,1 \pm 0,2	0,0 \pm 0,2	0,2 \pm 0,2	0,6 \pm 0,6	0,8 \pm 0,6	0,5 \pm 0,5	0,1 \pm 0,2	0,0 \pm 0,2
Nitrito (ppm)	0,2 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2
Fosfato (ppm)	0,04 \pm 0,03	0,02 \pm 0,01	0,01 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,02 \pm 0,03	0,03 \pm 0,03	0,04 \pm 0,03	0,02 \pm 0,01
Temperatura (°C)	29,4 \pm 0,6	31,5 \pm 0,5	31,7 \pm 0,3	30,8 \pm 0,3	30,8 \pm 0,3	31,3 \pm 0,3	31,1 \pm 0,3	31,1 \pm 0,3

ND, No datos.

TABLA 2. Desempeño productivo de la tilapia en policultivo con bocachico con perifiton, como alternativa de alimento

	Estrategia alimentaria ¹ (A)			Presencia de Sustrato (B)		ANOVA ¹						
	0%	20%	25%	Si	No	A	B	AxB	AxBxT	BxT	AxT	T
Longitud Estándar final (cm)	10.0 ^a	21.11 ^b	20.9 ^b	16.9 ^a	17.7 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Peso final (g)	44.2 ^a	356.0 ^b	347.9 ^b	236.8 ^a	262.0 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Ganancia diaria (g/día)	0.19 ^a	1.574 ^b	1.538 ^b	1.04 ^a	1.1 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Sobrevivencia (%)	1.50 ^a	26.2 ^b	31.4 ^b	22.0 ^a	17.4 ^a	*	NS	NS	-	-	-	-
Productividad (Kg/ha)	15.6 ^a	2290.1 ^b	2951.2 ^b	1895.3 ^a	1609.4 ^a	*	NS	NS	-	-	-	-
Conversión	-	2.42	1.97	2.15	2.25	NS	NS	NS	-	-	-	-

¹ Superíndices diferentes entre columnas por cada factor evaluado indican diferencia estadística ($p < 0,05$).

TABLA 3. Desempeño productivo del bocachico durante el policultivo con tilapia con perifiton como alternativa de alimentación.

	Estrategia alimentaria (A)			Presencia de Sustratos (B)		ANOVA						
	0%	20%	25%	Si	No	A	B	AxB	AxBxT	BxT	AxT	T
Longitud Estándar final (cm)	8.68 ^a	17.3 ^b	16.1 ^b	14.17 ^a	13.9 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Peso final (g)	20.3 ^a	137.5 ^b	110.3 ^b	87.5 ^a	91.2 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Ganancia diaria (g/día)	0.0837 ^a	0.60 ^b	0.48 ^b	0.38 ^a	0.3 ^a	*	NS	NS	NS	NS	*	*
Sobrevivencia (%)	5.5 ^a	33.06 ^a	32.0 ^a	29.63 ^a	17.4 ^a	NS	NS	NS	-	-	-	-
Productividad (Kg/ha)	Non-est	301.9 ^a	244.3 ^a	Non-est	104.9	NS	NS	NS	-	-	-	-
Conversión ¹	-	2.2 ^a	1.9 ^a	1.8 ^a	2.27 ^a	NS	NS	NS	-	-	-	-

¹ Conversión estimada sumando las biomásas de bocachicos y tilapias y relacionándolas con el alimento consumido en el estanque. Superíndices diferentes entre columnas por cada factor evaluado indican diferencia estadística ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Calidad de agua, tiempo y área de fijación

En el agua se registró una transparencia inferior a 11 cm, lo cual impidió una adecuada penetración de luz, necesaria para la realización de la fotosíntesis, lo que consecuentemente afectó la producción de perifiton autotrófico. Tres asuntos pueden ser discutidos al respecto: en primer lugar, la construcción reciente de los estanques originó la presencia de arcillas en suspensión; en segundo lugar, la acción de los tubos en el fondo cuando estos eran movidos por el viento, y en tercer lugar, la presencia de peces de hábitos bentónicos (bocachico) pudo ejercer un efecto de resuspensión de sólidos en la columna de agua (Azim et ál. 2005; Yosa et ál. 2009).

La recomendación de Atencio Garcia et ál. (2003) para bocachico es manejar densidades de hasta 1 pez/m², iniciando con 0,1 a 0,3 peces/m² en estanques recién construidos, por lo cual se podría considerar que la densidad utilizada en el presente estudio (0,7 bocachicos/m²) fue relativamente alta. Milstein et ál. (2006) aseguran que el policultivo que además de peces bentónicos tenga peces filtradores posibilita un uso más eficiente en el aprovechamiento trófico del estanque; sin embargo, una exagerada cantidad de peces de fondo puede generar tal agitación que la transparencia se vea afectada a tal grado que impida la penetración solar y, por ende, afecte la productividad primaria. Con respecto a la posible acción de los tubos sobre la turbidez, Azim et ál. (2004) reportaron algo similar y explicaron el aumento de turbidez en los estanques con sustrato mediante dos hipótesis: la primera, que el sustrato genera agitación en el estanque creando

turbidez, y la segunda, que cuando los peces se alimentan del perifiton liberan materia no algal del sustrato y generan la turbidez, razones que también pueden ser consideradas en el presente estudio.

Desempeño de la tilapia

Los estudios recomiendan dejar entre dos (Azim et ál. 2003) y cuatro semanas (Richard et ál. 2009) como tiempo mínimo para la fijación de perifiton, antes de ubicar los peces. En el presente estudio a los 20 días de llenados los estanques con agua, posterior a la instalación de los tubos, se observó perifiton en los sustratos, y solo a partir de ese momento se introdujeron los peces. El área adicional suministrada por los sustratos estuvo acorde con las recomendaciones, Azim et ál. (2004) aseguraron que superficies adicionales de un 60% ya son suficientes para generar efectos sobre el desempeño productivo del estanque.

Los estudios sugieren que la tilapia tiene un mejor desempeño en presencia de perifiton, ella ramonea en los sustratos y es un alimento económico. Dempster et ál. (1993, 1995) demostraron que la tilapia nilótica puede ramonear eficientemente el perifiton, y otros estudios sugieren que la producción de peces puede ser aumentada por el consumo de perifiton que coloniza sustratos (Hem y Avit 1994; Legendre et ál. 1989; MacGrory y Williams 1996). Sin embargo, en el caso del presente experimento, la presencia de sustrato no tuvo efecto sobre los parámetros productivos (tabla 2), lo cual puede ser explicado porque si bien había sustrato, esta no fue condición suficiente para que hubiese una adecuada cantidad de perifiton. Adicionalmente a la alta turbidez, los investigadores sugieren que el color del sustra-

to es clave para que haya una adecuada fijación, y recomiendan el color blanco o claro sobre los oscuros (comunicación personal con Ana Milstein 2011).

Keshavanath et ál. (2004) evaluaron el perifiton como suplemento para alevinos de tilapia híbrida utilizando bambú dentro de tanques. Encontraron que la densidad de la biomasa sobre el bambú se incrementó inicialmente y con el tiempo se redujo debido al consumo por parte de los peces. Concluyeron que el desempeño de la tilapia fue superior en aquellos tanques con bambú y fue evidente que el perifiton pudo reemplazar o complementar la alimentación de los alevinos de tilapia, si bien eran necesarios más estudios para optimizar el sistema. En el presente estudio el cultivo se evaluó durante ocho meses, sin que se registraran efectos del factor sustrato en los parámetros productivos.

Para el caso del factor alimento, se presentaron marcados efectos, especialmente cuando se comparó la primera estrategia de alimentación y la ausencia de alimento, con la inclusión de ración de 20 y 25 de PB. En todos los parámetros productivos, el factor A, especialmente la ausencia de alimento, tuvo un efecto significativo, constituyéndose en una inadecuada estrategia alimentaria en el cultivo. Esta estrategia fue considerada a partir de la hipótesis de que la presencia de sustrato adicional permitiría la fijación de perifiton, el cual, a su vez, serviría de suplemento alimenticio para los peces. Sin embargo, los resultados indican que bajo las condiciones evaluadas esto no fue evidente, por lo cual se sugiere que el perifiton no tuvo el desarrollo esperado, y por tanto no hubo suplemento alimenticio para los peces. Uddin et ál. (2009) evaluaron un policultivo de tila-

pia *Oreochromis niloticus* con camarón *Macrobrachium rosenbergii* en una proporción 75%:25% (tilapia:camarón), utilizando Alimento + Sustrato (FS), No alimento + Sustrato (FoS), Alimento + No sustrato (FSO), No alimento + No sustrato (FoSo); el alimento contenía 25% de PB, suministrado de 2 a 3% de la biomasa/día. Los resultados indicaron que la conversión alimenticia fue mejor para el tratamiento que tenía alimento y sustrato para perifiton. La adición de alimento, sustrato o ambos, resultaron en un mejor desempeño para tilapia y camarón. Las producciones netas de tilapia y camarón fueron significativamente mayores en el tratamiento FS que en los otros, y no hubo diferencia significativa entre FSO y FoS. A diferencia del trabajo de Uddin et ál. (2009), en el presente estudio no hubo interacción entre sustrato y alimento, es decir, no fue mejor el desempeño de las tilapias cuando convergían estas dos situaciones, sustrato más alimento balanceado. El efecto del alimento sobre el desempeño fue independiente de la presencia o ausencia de sustrato. Adicionalmente, en el trabajo de Uddin et ál. (2009) el desempeño de los peces fue el mismo en las condiciones Sustrato + No alimento que en No sustrato + Alimento, señalando el perifiton fijado en el sustrato como una opción alimentaria. Este resultado muestra que sí es posible suplir las demandas alimenticias de los peces cuando está disponible el sustrato y cuando el perifiton fijado está bien desarrollado. En el presente estudio, a pesar de existir el sustrato, el perifiton no se desarrolló lo suficiente dadas las situaciones referidas previamente.

Por otra parte, no se registró diferencia significativa en el desempeño del cultivo cuando se utilizó alimento

que contenía 20% y el que tenía 25% de PB. Se sugiere como posible causa de este resultado, que los alimentos balanceados ofrecidos no cumplían los niveles de proteínas referidos en la etiqueta del producto. A este respecto, se recomienda hacer evaluaciones con dietas experimentales. Las tilapias alcanzaron pesos finales de comercialización (247-357 g), pero con baja sobrevivencia (26%-31%) (tabla 2) cuando se les compara con la sobrevivencia obtenida por Atencio et ál. (1995), quienes obtuvieron sobrevivencia de 65,9% en la tilapia en un policultivo conjuntamente con bocachico y cachama negra *Collossoma macropomun*, donde fue ofrecida dieta artificial y abono orgánico. Además, la baja sobrevivencia en el presente estudio podría explicar los altos pesos promedios obtenidos por las tilapias. Azim et ál. (2003) observaron una mejor tasa de crecimiento diario cuando las densidades de peces en los estanques eran bajas a causa de la menor competencia por alimento.

Las más altas productividades fueron obtenidas con el suministro del alimento (2290 y 2950 kg/ha), similares a las obtenidas por Uddin et ál. (2009) en policultivo de tilapia nilótica con camarón utilizando sustrato y alimento balanceado; con la diferencia de que el tiempo de cultivo de estos investigadores fue de 140 días con 76% de sobrevivencia, mientras que el nuestro fue de 240 días con 31% de sobrevivencia.

Desempeño bocachico

Para el bocachico, los factores evaluados no presentaron interacción entre sí sobre las variables evaluadas y el sustrato tampoco tuvo efectos por sí solo sobre el desempeño productivo, pero el factor estrategia alimentaria afectó significativa-

mente el crecimiento de bocachico, y se observaron mejores crecimientos cuando se suministró alimento balanceado, independiente de su nivel de proteína (tabla 3). Si bien el hábito alimenticio de los bocachicos es bentónico, en la etapa inicial de crecimiento se observó que consumen alimento balanceado, por lo que su ausencia afectó el crecimiento.

La densidad de siembra es una variable de manejo zootécnico que influye en el crecimiento. Torres y Lascarro (1993) sugirieron que 0,7 animales/m² es una densidad alta para el cultivo de bocachico pues afecta el crecimiento y puede conducir a elevadas mortalidades. Atencio et ál. (1995) señalaron que entre 0,1 y 0,2 peces/m² es la densidad adecuada para el crecimiento y sobrevivencia del bocachico en policultivo junto con tilapia y cachama negra. Vallecía et ál. (2002) señalaron que el bocachico en la etapa de levante puede ser sembrado a una densidad de 5 animales/m², presentando un crecimiento y desarrollo satisfactorio con una producción de 2300 kg/ha; pero que la fase de engorde con densidad de 0,2 bocachicos/m² permite obtener animales de 368 gramos promedio. En el presente experimento, a densidad de 0,7 peces/m² el peso final, en 240 días, osciló entre 110 y 130 g, y se obtuvo una productividad entre 244 y 300 kg/ha, y una sobrevivencia menor de 31%. En el presente estudio, la densidad a la cual se sembró el bocachico fue 3,5 veces mayor a la sugerida por Atencio et ál. (1995) y Vallecía et ál. (2002); por tanto, se puede considerar como una densidad alta.

De acuerdo con Huchette et ál. (2000), las algas perifíticas deben ser ramoneadas constantemente para mantener una biomasa baja, en atención a

mantener una productividad elevada ya que el incremento en la biomasa en la ausencia de consumidores puede causar muerte en las algas, con desprendimiento y pérdida de biomasa. Sin embargo, la densidad de peces es un factor que debe ser determinado, ya que una presión alta sobre el perifiton puede impedir su adecuado desarrollo. Hipotéticamente, este constante ramoneo por parte de los peces sería otro factor que habría impedido la renovación apropiada del perifiton en el presente estudio.

De acuerdo con Atencio-García et ál. (2003), el bocachico ha sido considerado como alternativa para la piscicultura extensiva y semintensiva por las ventajas que representa su régimen alimentario detritívoro. Por lo anterior, y de acuerdo con Crab et ál. (2007), la técnica del perifiton puede ser utilizada en sistemas de pequeña escala de producción, a niveles extensivos y en países en desarrollo.

Según Milstein et ál. (2006) los policultivos que incluyen carpas y pequeños peces nativos (SIS, por sus siglas en inglés Small Indigenous Fish Species) aprovechan toda la columna de agua mezclando peces filtradores, comedores de fondo, además de los peces que reciben alimentos balanceados. Kadir et ál. (2006) aseguraron que el policultivo con especies SIS permite que una parte del producto sea vendida (ingresos) y la otra sirva para seguridad alimentaria. En este mismo sentido, el policultivo de bocachico y tilapia representa una opción válida para el desarrollo de este tipo de sistemas. El bocachico podría producirse para seguridad alimentaria; mientras que la tilapia sería para generar ingresos adicionales. Las especies SIS, que agitan el fondo como el bocachico, tienen dos efectos principales: primero, incremen-

tan la tasa de difusión a través de la interfase agua-suelo (Hoheney y Gachter 1994), y segundo, incrementan la descomposición aeróbica al airear los sedimentos anaeróbicos (Beristain 2005); de esta forma, hacen disponibles los nutrientes atrapados en él y mejoran el aprovechamiento del estanque.

Sahu et ál. (2007), quienes proporcionaron un 10% adicional de área de fijación para perifiton en un policultivo con carpas, registraron un incremento en los promedios de sobrevivencia, crecimiento, ganancia diaria de peso y productividad neta. En realidad, se suministra superficie para la fijación de perifiton que aportará más oferta de alimento a los comedores de fondo y ramoneadores, como es el caso de bocachicos y tilapias. En efecto, cuando se analizó la conversión total del estanque, esta fue superior a la de la tilapia solamente, pues el suministro del alimento se hizo para tilapia y la producción de bocachico es ganancia adicional que mejora la conversión.

Algunos investigadores han podido concluir que el tipo de sustrato utilizado (Keshavanath et ál. 2001), así como el método de fertilización (Azim et ál. 2001), tienen un efecto significativo sobre la productividad y calidad del perifiton y consecuentemente sobre la producción de peces. Para el caso del presente experimento, el sustrato fue material inerte oscuro y los estanques solo recibieron cal viva para desinfección de los fondos. Se consideró que un manejo adecuado para este tipo de cultivo era que los nutrientes excretados y desperdiciados por los peces fuesen los que alimentasen a la productividad primaria, en este caso al perifiton. Fertilizar durante el experimento para fomentar la producción de perifiton no sería una acción

consecuente con este manejo cuando lo que se procura es disminuir el aporte externo de insumos al estanque, y sí estimular la recirculación de nutrientes entre desechos y perifiton.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales, no se encontró efecto positivo de la presencia de sustrato para perifiton sobre el desempeño productivo de la especie. Sin embargo, se puede resaltar que la propuesta tecnológica es compatible con la producción de peces pues no generó inconvenientes y que por el contrario es evidente el ramoneo sobre el perifiton. Se requieren nuevos ensayos proporcionando mayor zona fótica del estanque.

REFERENCIAS

1. Atencio-García V, Kerguelén E, Wadnipar L, Narváez A. 2003. Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Revista MVZ Córdoba. 8(1): 254-260.
2. Atencio García VJ, Cura Dorado E, Yepes Escobar J. 1995. Evaluación del policultivo semi-intensivo de bocachico (*Prochilodus reticulatus*), cachama negra (*Colossoma macropomum*) y tilapia roja (*Oreochromis spp*). Montería: Universidad de Córdoba/Facultad de Ciencias/Departamento de Acuicultura. 114 p.
3. Azim ME, Wahab MA, VanDam AA, Beveridge MCM, Milstein A, Verdegem MCJ. 2001. Optimization of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implication for periphyton-based aquaculture. Aquac Res. 32: 749-760.
4. Azim ME, Verdegem MCM, Singh M, Van Dam AA, Beveridge MCM. 2003. The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth. Aquac Res. 34: 685-695.
5. Azim ME, Wahab MA, Biswas PK, Asaeda T, Fujino T, Verdegem MCJ. 2004. The effect of periphyton substrate density on production in freshwater polyculture ponds. Aquaculture 232: 441-453.
6. Azim ME, Asaeda T. 2005. Periphyton structure, diversity and colonization. En: Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM, editores. 2005. Periphyton ecology, exploitation and management. Wallingford(GB): CABI Publishing. p. 15-32.
7. Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM. 2005. Periphyton ecology, exploitation and management. Wallingford(GB): CABI Publishing. 319 p.
8. Bender J, Lee R, Sheppard M, Brinkley K, Phillips P, Yeboah Y, Wah RC. 2004. A waste effluent treatment system based on microbial mats for black sea bass *Centropristis striata* recycled water mariculture. Aquac Eng. 31: 73-82.
9. Beristain BT. 2005. Organic matter decomposition in simulated aquaculture ponds. [Tesis de doctorado]. [Wageningen: The Netherlands]: Fish Cultures and Fisheries Group, Department of Animal Science, Wageningen University.
10. CCI. 2006. Sistema de Información Sectorial Pesquero. Bogotá. Boletín Pesquero INCODER/MADR. Nro. 6: septiembre. 138 p.
11. CCI. 2009. Pesca y Acuicultura Colombia. Bogotá: Corporación Colombia Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 111 p.
12. Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. Aquaculture. 270(1-4): 1-14.
13. Dempster PW, Beveridge MCM, Baird DJ. 1993. Herbivory in the tilapia *Oreochromis niloticus*: a comparison of feeding rates on phytoplankton and periphyton. J Fish Biol. 43(3): 385-392.
14. Dempster PW, Baird DJ, Beveridge MCM. 1995. Can fish survive by filter feeding on microparticles? Energy balance in tilapia grazing on algal suspensions. J Fish Biol. 47(1): 7-17.

15. Dodds WK. 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems. *J Phycol.* 39(5): 840–849.
16. Espinal GC, Martínez CH, González RF. 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica, 1991–2005. Documento de trabajo, nro. 106 [Internet]. Bogotá: Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 46 p. Disponible en: <http://www.ibcperu.org/doc/isis/9812.pdf>.
17. Gneri FS, Angelescu V. 1951. La nutrición de los peces iliófagos en relación con el metabolismo general del ambiente acuático. *Rev Inst Nal Inv Cienc Nat.* 2(1): 1–44.
18. Hem S, Avit JLB. 1994. First results on “ac-adja-enclos” (bamboo reefs) used as an extensive aquaculture system Cote d’Ivoire (West Africa). *Bull Mar Sci.* 55: 1038–1049.
19. Hohener P, Gachter R. 1994. Nitrogen cycling across the sediment-water interface in the eutrophic, artificially oxygenated lake. *Aquat Sci.* 56(2): 115–132.
20. Huchette SMH, Beveridge MCM, Baird DJ, Ireland M. 2000. The impacts of grazing by tilapias (*Oreochromis niloticus* L) on periphyton communities growing on artificial substrate in cages. *Aquaculture.* 186: 45–60.
21. Kadir A, Kundu RS, Milstein A, Wahab M. 2006. Effects of silver carp and small indigenous species on pond ecology and carp polycultures in Bangladesh. *Aquaculture.* 261(3): 1065–1076.
22. Keshavanath P, Gangadhar B, Ramesh TJ, Van Rooij JM, Beveridge MCM, Baird DJ, Verdegem MCJ, Van Dam AA. 2001. Use of artificial substrates to enhance production of freshwater herbivorous fish in pond culture. *Aquac Res.* 32: 189–197.
23. Keshavanath P, Gangadhar B, Ramesh TJ, van Dam AA, Beveridge MCM, Verdegem MCJ. 2004. Effects of bamboo substrate and supplemental feeding on growth and production of hybrid red tilapia fingerlings (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*). *Aquaculture.* 235: 303–314.
24. Legendre M, Hem S, Cisse A. 1989. Suitability of brackish water tilapia species from Ivory Coast for lagoon aquaculture. II: Growth and rearing methods. *Aquat Living Resour.* 2: 81–89.
25. Macgrory J, Williams D. 1996. Katha Fishing: Economics, access patterns and potential conflicts with fish cage culture. Bangladesh: CARE. 74p.
26. Milstein A, Ahmed AF, Masud OA, Kadir A, Wahab MA. 2006. Effects of the filter feeder silver carp and the bottom feeder’s mrigal and common carp on small indigenous fish species (SIS) and pond ecology. *Aquaculture.* 258(1-4): 439–451.
27. Richard M, Trottier C, Verdegem MCJ, Husenot JME. 2009. Submersion time, depth, substrate type and sampling method as variation sources of marine periphyton. *Aquaculture.* 295(3-4): 209–217.
28. Sahu PK, Jena JK, Das PC, Mondal S, Das R. 2007. Production performance of *Labeo calbasu* (Hamilton) in polyculture with three Indian major carps *Catla catla* (Hamilton), *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) with provision of fertilizers, feed and periphytic substrate as varied inputs. *Aquaculture.* 262(2-4): 333–339.
29. Torres L, Lascarro J. 1993. Engorde de bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae* Steindachner 1878) comparando tres tratamientos de abonado (boñiga, boñiga-taruya, 30-10-15) y ensayando substratos para perifiton. [Tesis de grado]. [Santa Marta, Colombia]: Universidad del Magdalena.
30. Uddin MS, Azim ME, Wahab MA, Verdegem MCJ. 2009. Effect of substrate addition and supplemental feeding on plankton composition and production in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn. *Aquaculture.* 287: 99–105.
31. Vallecía J, Caicedo J, Pérez A, Medina I. 2002. Monocultivo del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) durante las fases de alevinaje, levante y engorde, con tres densidades de siembre, en estanques en tierra del Centro Nacional de Investigaciones Acuáticas de Repelón. Informe Preliminar. Proyecto No.

981082006 Investigación Aplicada. INPA – PRONATTA. 64 p.

32. Yossa MI, Hernández-Arévalo G, Vásquez-Torres W. 2009. Efecto del “coporo”, *Prochilodus mariae* (Characiformes: Prochilontiidae), sobre la calidad del agua en sistema de policultivo. Actual Biol. 31(supl, 1): 199.