

Efectos del perifiton sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en estanques con policultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae**

Sebastián Eduardo Muñoz Duque**, José Jaime García González***, Guillermo Correa Londoño****, Víctor Julio Atencio García*****, Sandra Clemencia Pardo Carrasco*****

Resumen

Introducción. La piscicultura es una actividad importante para satisfacer la demanda alimenticia de una población en crecimiento; por lo mismo, es necesario el desarrollo de tecnologías responsables con el ambiente. El cultivo basado en perifiton es atractivo, ya que este puede alimentar los peces y mejorar la calidad del agua permitiendo un sistema más eficiente y limpio. **Objetivo.** Evaluar el efecto del perifiton sobre algunos parámetros de calidad del agua en el policultivo de tilapia nilótica-bocachico. **Metodología.** Se ejecutó un experimento durante ocho meses en 18 estanques de 90 m², con 2.7 tilapias/m² y 0.7 bocachicos/m², sin fertilización. Como sustrato para perifiton, se instalaron de forma vertical tubos plásticos (3.3 tubos/m²), y su presencia o ausencia fue un factor evaluado. 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; los seis tratamientos del experimento factorial resultante se asignaron a las unidades experimentales con base en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Diariamente, se midieron oxígeno disuelto, pH, transparencia y temperatura; quincenalmente: amonio total, nitrito y fosfato; mensualmente: alcalinidad, dureza total. **Resultados.** No se encontraron efectos ($p > 0.05$) del uso de sustratos para el desarrollo de perifiton sobre oxígeno disuelto, fosfatos y dureza; fueron encontrados efectos de este factor (B) sobre ($p < 0.05$) sobre temperatura, trans-

parencia, pH, amonio y nitrito. **Conclusión.** Dada la gran complejidad ecológica de estos sistemas de policultivo basados en perifiton, los resultados obtenidos sugieren la necesidad de continuar las investigaciones.

Palabras Clave: bocachico, perifiton, piscicultura, policultivo, tilapia.

Effects of periphyton on the physical and chemical parameters of water in ponds with tilapia *Oreochromis niloticus* and bocachico *Prochilodus magdalenae* polycultures

Abstract

Introduction. Pisciculture is an important activity to satisfy the alimentary necessities of a growing population. Therefore, it is necessary to develop environmentally responsible techniques. Cultivation based on periphyton is attractive, because it can feed the fish and improve the quality of the water, allowing a more efficient and cleaner system. **Objective.** To evaluate the effect of periphyton on some of the quality parameters of the water used for the cultivation of Nile-bocachico tilapia fish. **Methodology.** An experiment was performed during eight months in eighteen 90 m² ponds with 2.7 tilapia fish per square meter and 0.7 bocachicos per square meter, with no fertilization. As a periphyton substrate, vertical plastic pipes were installed (3.3 pipes/m²) and their presence or absence was an evaluated factor. Additionally,

* Artículo derivado del proyecto de investigación "Evaluación de sistemas de producción más limpia: policultivo de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* y bocachico *Prochilodus magdalenae*", financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Universidad de Córdoba y la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Código: 234-2008U62189-6087. Realizada durante los años 2009-2011.

** Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

*** Ingeniero acuícola, MSc, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

**** Ingeniero Forestal, MSc, PhD, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

***** Ingeniero Pesquero, MSc, Grupo CINPIC, Universidad de Córdoba

***** MVZ, MSc, PhD, Grupo BIOGEM, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Correspondencia: Sandra Clemencia Pardo Carrasco, e-mail: scpardoc@unal.edu.co

Artículo recibido: 21/01/2011; Artículo aprobado: 01/08/2012

three feeding strategies were evaluated: 0 (no food), feeding with 20% of raw protein (RP) and feeding with 25% of RP. A 2x3 factorial design was used. The six treatments of the resulting factorial experiment were assigned to the experimental units based on a random design with three repetitions. Every day the dissolved oxygen, the pH, the transparency and the temperature were measured. Same thing was made every two weeks for the total ammonium, the nitrite and the phosphate. Every month, alkalinity and total thickness were measured, as well. **Results.** No effects of the use of substrata were found ($p > 0.05$) for the development of periphyton on dissolved oxygen, phosphates and thickness. Effects of this factor (B) were found ($p < 0.05$) on temperature, transparency, pH, ammonium and nitrite. **Conclusion.** Given the ecologic complexity of these polycultivation systems based on periphyton, the results obtained suggest the necessity of continuing the research work.

Key words: bocachico, periphyton, pisciculture, polyculture, tilapia.

Efeitos do perifíton sobre os parâmetros físico-químicos do água em estanques com policultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae*

Resumo

Introdução. A piscicultura é uma atividade importante para satisfazer a demanda alimentícia de uma população em crescimento; pelo mesmo, é necessário o desenvolvimento de tecnologias res-

ponsáveis com o ambiente. O cultivo baseado em perifíton é atraente, já que este pode alimentar os peixes e melhorar a qualidade do água permitindo um sistema mais eficiente e limpo. **Objetivo.** Avaliar o efeito do perifíton sobre alguns parâmetros de qualidade do água no policultivo de tilápia nilótica-bocachico. **Metodologia.** Executou-se um experimento durante oito meses em 18 estanques de 90 m², com 2.7 tilápias/m² e 0.7 bocachicos/m², sem fertilização. Como substrato para perifíton, instalaram-se de forma vertical tubos plásticos (3.3 tubos/m²), e sua presença ou ausência foi um fator avaliado. Adicionalmente, três estratégias alimentarias foram avaliadas: 0 (sem alimento), alimentação com ração do 20% de proteína bruta (PB) e alimentação com ração do 25% de PB. Utilizou-se um desenho fatorial 2x3; os seis tratamentos do experimento resultante se atribuíram às unidades experimentais com base num desenho completamente a esmo, com três repetições. Diariamente, mediram-se oxigênio dissolvido, pH, transparência e temperatura; quinzenalmente: amônio total, nitrito e fosfato; mensalmente: alcalinidade, dureza total. **Resultados.** Não se encontraram efeitos ($p > 0.05$) do uso de substratos para o desenvolvimento de perifíton sobre oxigênio dissolvido, fosfatos e dureza; foram encontrados efeitos deste fator (B) sobre ($p < 0.05$) sobre temperatura, transparência, pH, amônio e nitrito. **Conclusão.** Dada a grande complexidade ecológica destes sistemas de policultivo baseados em perifíton, os resultados obtidos sugerem a necessidade de continuar as investigações.

Palavras importantes: bocachico (*Prochilodus magdalenae*), perifíton, piscicultura, policultivo, tilápia.

Introducción

Durante las últimas cuatro décadas, se ha dado un desarrollo altamente significativo de la acuicultura^{1, 2}, haciendo que esta se constituya en el sector de producción de alimentos de origen animal con mayor ritmo de crecimiento. Actualmente proporciona cerca de la mitad del pescado en el mundo para alimentación^{2, 3}. No obstante, en esta actividad productiva se presenta una ineficiente relación entre los nutrientes aportados como alimentos balanceados y el producto final, donde en muchos casos solamente el 30% de tales nutrientes son retenidos como biomasa animal⁴⁻⁶ y el remanente se pierde en los sedimentos, la atmósfera y especialmente el efluente. Como consecuencia, se observa eutroficación de los cuerpos de agua

receptores^{7, 8} con el consecuente deterioro progresivo de tales sistemas hídricos⁹.

Una alternativa para lo anterior es la implementación de sistemas de cultivo basados en perifíton, en los cuales se sumergen sustratos en los estanques con el fin de promover el desarrollo de una compleja comunidad de organismos acuáticos autotróficos y heterotróficos¹⁰. Tales organismos pueden estar asociados o no a la superficie de dichos sustratos¹¹. El desarrollo de la comunidad perifítica implica interacciones positivas y negativas entre el fitoplancton, el perifíton autotrófico, los microorganismos heterotróficos del fondo de los estanques y el perifíton heterotrófico, y entre todos ellos y las especies en cultivo, lo que finalmente puede promover un mayor reciclaje de los nutrientes en la columna de agua¹⁰.

La utilización de sistemas basados en perifiton ha evidenciado resultados positivos, al encontrarse una mejor calidad de agua en los estanques con sustratos para perifiton que en los controles sin sustratos¹⁰, principalmente en cultivos extensivos y semiintensivos tropicales¹², lo que hace de Colombia un sitio con gran potencial para la aplicación de estos sistemas al cultivo piscícola. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del perifiton y la estrategia alimentaria sobre parámetros de calidad del agua, y es el punto de partida para posteriores investigaciones que permitan concluir sobre las ventajas o pertinencia de estos sistemas, bajo similares condiciones de cultivo.

Materiales y métodos

Localización geográfica. El cultivo experimental se llevó a cabo en la piscícola Meléndez, situada en el municipio de Cereté, departamento de Córdoba, Colombia. Cereté se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Sinú, coordenada 75°42' longitud oeste y 8°50' latitud norte, con respecto al meridiano de Greenwich, con una temperatura promedio de 27°C y humedad relativa de 97%; está ubicado a 12 msnm.

Material biológico. Se utilizaron alevinos de tilapia nilótica ($1 \pm 0,1$ g de peso vivo), adquiridos a una empresa piscícola que garantizó su buena calidad, homogeneidad y alto porcentaje de reversión sexual. Los alevinos de bocachico ($1 \pm 0,2$ g de peso vivo) fueron suministrados por

el Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba, CINPIC.

Preparación de los estanques y siembra de alevinos. Se utilizaron 18 estanques en tierra ($90 \text{ m}^2 \text{ c/u}$), los cuales fueron secados durante aproximadamente tres días. Se tomaron muestras de suelo para análisis de pH y contenido de nutrientes, para así definir los pasos siguientes. No se realizó corrección del pH por cuanto este estuvo por encima de 6. Tampoco se fertilizó, puesto que los análisis de suelo mostraron adecuado contenido de nutrientes. Lo anterior con el fin de aminorar la entrada de fuentes externas de nutrientes; sólo se consideró hacer ajustes al inicio del periodo experimental, si fuere necesario.

No se realizó ninguna fertilización durante el restante período experimental ni tampoco se realizaron recambios de agua; únicamente se repusieron pérdidas por evaporación e infiltración. A los estanques que les correspondió tener sustratos para perifiton se les instalaron tubos de plástico polietileno con un diámetro de 6 cm y una longitud de 1.2 m, a razón de 3.3 tubos/ m^2 . Esta densidad de tubos aportó un área de fijación adicional del 67%. Los tubos se colgaron a cuerdas de alambre (figura 1) para que quedaran sumergidos en forma vertical, luego los estanques se inundaron con agua proveniente del río Sinú, a través de un distrito de riego existente en la zona. Finalmente, fueron sembradas 243 tilapias y 63 bocachicos por cada estanque ($2.7 \text{ tilapia}/\text{m}^2$, $0.7 \text{ bocachico}/\text{m}^2$), para un total de $3.4 \text{ peces}/\text{m}^2$.



Figura 1. Tubos plásticos de polietileno utilizados como sustratos de fijación de perifiton.

Fuente: los autores

El suministro del alimento para aquellos tratamientos a los que les correspondió tal nivel del factor A durante el periodo experimental se realizó a una tasa promedio del 3% de la biomasa de tilapia, ajustando la biomasa cada 30 días.

Monitoreo de la calidad del agua. Diariamente se determinó el oxígeno disuelto (OD) y la temperatura en grados Celsius (°C) con un oxímetro digital (YSI 550A USA), el pH con peachímetro digital (YSI 55, 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 OD, pH y transparencia fueron promediados hasta obtener datos mensuales. Quincenalmente se determinaron amonio total, fosfato y nitrito, con kits de Spectroquant (Merck, USA), utilizando un espectrofotómetro (SPECTRONIC Genesys 5, USA), con métodos estándar APHA. Los valores quincenales también se promediaron hasta obtener datos mensuales. Mensualmente se determinó la alcalinidad total y dureza total 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 la misma margen del estanque.

Diseño experimental. Se cultivó durante ocho meses en un sistema semi-intensivo de baja carga (3.4 peces/m²) con 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 correspondió a sustrato para perifiton, con dos niveles: presencia (B1) y ausencia (B2), quedando conformado un arreglo factorial de 3x2 con tres repeticiones para un total de 18 unidades experimentales. Los tratamientos fueron asignados a las unidades experimentales con base en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Como se hicieron mediciones mensuales de los parámetros sobre las mismas unidades experimentales, el tiempo es un tercer factor dentro del factorial.

Análisis estadístico. Se usó el software SAS 9.1, y se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de los errores. Los datos de temperatura se evaluaron con base en un ANOVA, usando el procedimiento GLM, mientras que los demás parámetros (transparencia, pH, amonio, nitrito, oxígeno, fosfato dureza y

alcalinidad) se procesaron mediante análisis de medidas repetidas, usando el procedimiento MIXED (modelo mixto).

El objetivo del análisis de medidas repetidas fue examinar y comparar las tendencias en el tiempo de las respuestas a los tratamientos, mediante lecturas secuenciales sobre las mismas unidades experimentales. Debido a lo anterior, y por estar correlacionadas al contener un aporte común de tales unidades, las medidas sobre la misma unidad que están cercanas en el tiempo tienden a estar más altamente correlacionadas que aquellas más distantes en el tiempo; asimismo, las varianzas tienden a verse afectadas por el tiempo.

Tales potenciales patrones de correlación y variación pueden combinarse para producir complejas estructuras que hacen que la matriz de covarianzas correspondiente a las lecturas repetidas sobre un mismo individuo no se ajuste a los supuestos de los análisis de varianza usuales, por lo que estos pueden no ser válidos. Los modelos mixtos, como el utilizado en el presente estudio, que incluyen tanto efectos fijos como efectos aleatorios posibilitaron ajustar la estructura de covarianzas y estimar los errores estándar más adecuados para las diferentes comparaciones, de acuerdo con las características de cada conjunto de datos.

Acorde con Littell et al¹³ y Littell et al¹⁴ para modelar estructuras de covarianzas, las opciones más adecuadas y, por tanto, utilizadas fueron: 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

No se registró interacción entre el factor A (estrategia alimentaria) y el factor B (sustrato) para la temperatura. Se encontró como significativo el efecto principal del factor B sobre la temperatura ($p=0.0005$), siendo esta menor en los tratamientos con presencia de sustrato (30.7°C). Igualmente, hubo efecto principal

significativo del factor B ($p=0.0087$) sobre la transparencia, siendo menor en aquellos tratamientos con sustrato para perifiton (10.7 cm) en comparación de 12.62 cm en promedio registrado en aquellos tratamientos sin sustratos. En el caso del pH, se encontró una interacción significativa ($p=0.009$) entre el factor B y el tiempo, y se evidenció que en el tiempo 5, los tratamientos con sustrato reportaron un pH significativamente mayor ($pH=7,50$).

Para el amonio también se constató una interacción significativa ($p=0.0013$) entre el factor B y el tiempo; en este caso se presentaron valores inferiores en los estanques con ausencia de sustrato en los tiempos 6 (0.30 mg/L) y 7 (0.48 mg/L). Pasando a los nitritos, se observó una interacción de segundo orden significativa ($p=0.0397$) entre la estrategia alimentaria, el

sustrato y el tiempo, y se halló que la combinación A3B1 (alimento con 25% de proteína más sustrato) tuvo el mayor registro (0.46 mg/L) dentro del tiempo 7.

La utilización de sustratos para perifiton no tuvo un efecto significativo ($p>0.05$) sobre oxígeno disuelto, fosfatos y dureza. En cuanto a la alcalinidad se presentó una interacción significativa ($p=0.0019$) entre el factor B y el tiempo; las diferencias no se dieron en el análisis de efectos simples del factor B sobre dicha variable en tiempos específicos, sino en el análisis de los efectos simples del tiempo en niveles específicos del factor B.

En las tablas 1 a 6 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos del agua en las unidades experimentales.

Tabla 1. Análisis de varianza de los niveles de alcalinidad (mg/L CaCO_3) en las unidades experimentales con tres estrategias de alimentación (A) y dos niveles para el factor sustrato (B) a través del tiempo.

	tiempo							
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
*Estrategia Alimentaria (A)								
(Efectos simples de A en tiempos específicos)								
Sin Alimento	59.9	57.1	45.9	55.6	59.1 ^a	57.3 ^a	60.5 ^a	64.0 ^a
Alimento del 20% de PB	60.5	66.7	66.2	80.2	103.4 ^b	92.5 ^{ab}	101.6 ^b	106.4 ^b
Alimento del 25% de PB	69.5	67.9	69.6	74.2	95.0 ^{ab}	103.5 ^b	111.5 ^b	101.2 ^b
*Sustrato (B)								
(Efectos simples de tiempo en niveles específicos de B)								
Presencia (B1)	57.7 ^a	60.5 ^a	59.3 ^a	64.0 ^a	90.2 ^b	90.9 ^b	96.0 ^b	101.3 ^b
Ausencia (B2)	68.9 ^{ab}	67.3 ^{ab}	61.8 ^a	75.9 ^{ab}	81.5 ^b	77.9 ^{ab}	86.3 ^b	79.8 ^{ab}
ANOVA		Pr > F						
Efecto de los factores								
Estrategia alimentaria (A)		0.007						
Sustrato (B)		0.711						
A*B		0.698						
tiempo		<0.0001						
A*tiempo		0.0024						
B*tiempo		0.0019						
A*B*tiempo		0.1882						

*Medias para el factor estrategia alimentaria con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas ($P<0.05$)

*Medias para el factor sustrato con diferentes superíndices en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0.05$)

Tabla 2. Análisis de varianza de los niveles de amonio (mg/L) en las unidades experimentales con tres estrategias de alimentación (A) y dos niveles para el factor sustrato (B) a través del tiempo

	Tiempo							
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Estrategia Alimentaria (A)								
Sin Alimento	ND	ND	0.10	0.04	0.22	0.22 ^a	0.35 ^a	0.31
Alimento del 20% de PB	ND	ND	0.28	0.30	0.31	0.72 ^{ab}	0.97 ^b	0.78
Alimento del 25% de PB	ND	ND	0.19	0.17	0.29	0.96 ^b	1.21 ^b	0.47
Sustrato (B)								
Presencia (B1)	ND	ND	0.24	0.06	0.36	0.96 ^a	1.20 ^a	0.73
Ausencia (B2)	ND	ND	0.14	0.28	0.18	0.31 ^b	0.48 ^b	0.32
ANOVA		Pr > F						
Efecto de los factores								
Estrategia alimentaria (A)	0.0002							
Sustrato (B)	<0.0001							
A*B	0.0553							
tiempo	<0.0001							
A*tiempo	0.0036							
B*tiempo	0.0001							
A*B*tiempo	0.1486							

Medias para los factores estrategia alimentaria o sustratos con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05)

Tabla 3. Interacción entre el factor estrategia alimentaria (A) y tiempo (t), para el oxígeno disuelto y entre el factor sustrato (B) y tiempo (t) para el pH en las unidades experimentales empleadas en el policultivo de tilapia y bocachico

	tiempo							
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Oxígeno disuelto								
Estrategia Alimentaria (A)								
Sin Alimento (A1)	2.46	4.39	4.76	4.85	5.45 ^a	5.33 ^a	5.74 ^a	4.95 ^a
Alimento del 20% de PB (A2)	2.62	4.58	3.61	3.85	2.90 ^b	2.43 ^b	3.02 ^b	3.25 ^b
Alimento del 25% de PB (A3)	2.51	4.42	3.69	3.47	2.51 ^b	2.12 ^b	2.40 ^b	2.51 ^b
pH								
Sustrato (B)								
Presencia (B1)	7.92	7.69	7.55	7.71	7.50 ^a	ND	ND	ND
Ausencia (B2)	7.92	7.70	7.55	7.69	7.40 ^b	ND	ND	ND

Medias para los factores estrategia alimentaria o sustratos con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05). ND= Dato no disponible

Tabla 4. Niveles de dureza, fosfato, oxígeno disuelto, transparencia pH y Temperatura en las unidades experimentales empleadas en el policultivo de tilapia y bocachico con tres estrategias de alimentación (A) y dos niveles para el factor sustrato (B)

	pH	Fosfato (mg/L)	Dureza (mg/L de CaCO ₃)	Transparencia (cm)	Oxígeno (mg/L)	Temper. (°C)
Estrategia Alimentaria (A) (efectos principales)						
Sin Alimento (A1)	7.6	0.03	81.32 ^a			30.9
Alimento del 20% de PB (A2)	7.7	0.03	100.35 ^b			30.9
Alimento del 25% de PB (A3)	7.5	0.03	99.03 ^{ab}			31.0
Sustrato (B) (efectos principales)						
Presencia (B1)		0.03	99.56	10.73 ^a	3.52	30.7 ^a
Ausencia (B2)		0.03	87.58	12.62 ^b	3.80	31.2 ^b
ANOVA Pr > F						
Estrategia Alimentaria	0.334	0.730	0.028			0.364
Sustrato		0.360	0.052	0.009	0.204	0.067
Estrategia Alimentaria*Sustrato	0.300	0.283	0.807			0.370

Medias para los factores estrategia alimentaria o sustratos con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05). Solo se muestran los valores p del análisis de varianza para cuyos efectos principales era pertinente evaluarlos al no interactuar con algún otro factor.

Tabla 5. Interacción entre el factor estrategia alimentaria (A) y tiempo (t), para la transparencia (cm) en las unidades experimentales empleadas en el policultivo de tilapia y bocachico

	tiempo							
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Estrategia Alimentaria (A)								
Sin Alimento	10.87	11.66	11.26	10.31	10.21	10.08 ^a	10.21	9.55
Alimento del 20% de PB	11.19	11.81	13.27	11.62	13.15	13.74 ^b	12.83	13.17
Alimento del 25% de PB	10.82	11.84	13.71	11.18	11.73	12.40 ^{ab}	11.47	12.21
ANOVA Pr > F								
Efecto de los factores								
Estrategia alimentaria (A)	0.0438							
Sustrato (B)	0.0087							
A*B	0.2295							
tiempo	<0.0001							
A*tiempo	0.0203							
B*tiempo	0.2510							
A*B*tiempo	0.1486							

Medias para los factores estrategia alimentaria con diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05)

Tabla 6. Interacción de segundo orden entre la estrategia alimentaria, el sustrato para perifiton y el tiempo (t) para los niveles de nitritos NO₂⁻ (mg/L). (Comparaciones entre las combinaciones de los niveles de la estrategia alimentaria con la presencia o ausencia de sustrato en tiempos específicos) en el policultivo de tilapia y bocachico

	tiempo							
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Combinaciones entre los Factores A y B								
A1*B1	ND	ND	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4 ^{ab}	0.4
A1*B2	ND	ND	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3 ^{ab}	0.2
A2*B1	ND	ND	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4 ^{ab}	0.4
A2*B2	ND	ND	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2 ^a	0.4
A3*B1	ND	ND	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5 ^b	0.3
A3*B2	ND	ND	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3 ^{ab}	0.5
ANOVA	Pr > F							
Efecto de los factores								
Estrategia alimentaria (A)	0.0438							
Sustrato (B)	0.0087							
A*B	0.2295							
tiempo	<0.0001							
A*tiempo	0.0203							
B*tiempo	0.2510							
A*B*tiempo	0.1486							

Medias para la interacción de los factores estrategia alimentaria (A1: Sin alimentación, A2: Alimento concentrado con 20% de PB, A3: Alimento concentrado con 20% de PB) y sustratos para la fijación de perifiton (B1: Presencia, B2: Ausencia) a través del tiempo; diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05).

Para el caso del factor estrategia alimentaria (A), fue encontrada una interacción entre este factor y el tiempo sobre alcalinidad, amonio, oxígeno disuelto y transparencia. Además, fue detectado como significativo el efecto principal de A sobre la dureza que fue menor en las unidades experimentales sin alimentación; en contraposición a lo anterior, aunque fue pertinente el análisis de los efectos principales de A sobre la temperatura, pH y fosfatos, estos no fueron significativos (tabla 4).

Discusión

Calidad de agua, tiempo y área de fijación. Contrario a los resultados obtenidos por Azim et al.¹⁰ y Azim et al.¹⁵, quienes reportan que la

inclusión de sustratos para perifiton aumenta los niveles de oxígeno, en esta investigación no se encontró un efecto significativo (p>0.05) de los sustratos sobre el oxígeno disuelto. Lo anterior puede explicarse teniendo en cuenta que los valores de transparencia encontrados están por debajo del rango deseado de 30-40 cm¹⁵, lo que implica que muy poca luz podía atravesar la columna de agua, lo que impidió la fotosíntesis¹⁶ y, por tanto, el desarrollo y crecimiento del perifiton autotrófico sobre el sustrato instalado. La construcción reciente de los estanques pudo ser una condición que incidió sobre la transparencia debido a la presencia de arcillas en suspensión.

De otra parte, aunque el bocachico puede sembrarse a una densidad de hasta 1 pez/m² (¹⁷), cuando se trata de estanques recién construi-

dos se aconsejan densidades entre 0,1 a 0,3 pez/m², por lo cual se podría considerar que la densidad utilizada en el presente estudio (0,7 bocachicos/m²) fue relativamente alta; esto pudo llevar a que el aporte de sólidos por parte de las paredes y el suelo fuera muy alto, además de la resuspensión de sólidos en la columna de agua, generada por los hábitos bentónicos de especies como el bocachico^{10, 18}.

Como bien lo aseguran Milstein et al.¹⁹, el policultivo, que además de peces bentónicos como la carpa común esté compuesto por peces filtradores como tilapia o carpa plateada, hace mucho más eficiente el aprovechamiento trófico del estanque. Sin embargo, una exagerada cantidad de peces con hábitos bentónicos puede generar una agitación en el mismo haciendo que la transparencia se vea afectada a tal grado que impida la penetración solar y, por ende, afecte la productividad primaria. De esta forma, es una razón bien soportada el que los peces de fondo, como bocachico, hayan causado una alta turbidez al remover el fondo en busca de alimento, como sucedió en este estudio evidenciado en la diferencia de 3.6 cm para la transparencia al comparar las unidades que se alimentaron con alimento del 20% de PB contra aquellas que no contaron con alimentación (tabla 5).

Adicionalmente, es probable que la presencia del sustrato haya causado una disminución en la transparencia del agua; Azim et al.²⁰ reportaron resultados similares, explicando el aumento de turbidez en los estanques con sustrato mediante dos hipótesis: la primera, que el sustrato generó agitación en el estanque creando turbidez, y la segunda, que cuando los peces se alimentan del perifiton liberan materia no algal del sustrato generando turbidez, razones que también pueden ser consideradas en el presente estudio. Otro aspecto a tener en cuenta es la atenuación de la luz llevada a cabo por las comunidades perifíticas, que si bien para este estudio no fueron las más abundantes, en parte, por lo limitado de las zonas fóticas, según Reader et al.²¹, estas comunidades perifíticas claramente impactan el espectro de luz. En la mayor parte de la literatura consultada^{10, 22, 23}, se reportan transparencias más altas en aquellos tratamientos con sustratos para perifiton, por la captura de partículas que ejerce este. Sin embargo, en este estudio, la comunidad perifí-

tica no contó con un suficiente desarrollo en el tiempo para hacer una captura significativa de partículas¹¹.

De la misma forma que hay menos transparencia o zona fótica en los tratamientos con sustratos, también se registró un descenso en sus temperaturas al disminuir el ingreso de radiación solar¹⁶. En este orden de ideas, también se puede explicar el efecto del factor B sobre el pH (tabla 3), si se tiene en cuenta que a mayor temperatura aumenta la tasa metabólica de los organismos vivos²⁴, resultando en una mayor producción de CO₂. Lo anterior se verifica en los tratamientos sin sustrato, en los cuales la temperatura fue mayor, encontrándose un pH más bajo posiblemente generado por la mayor producción de CO₂, el cual tiene la característica de ser acidificante en los cuerpos de agua²⁵.

Asimismo, la temperatura también puede explicar el efecto significativo del factor B sobre el amonio y los nitritos, puesto que aquellos tratamientos con sustrato presentaron valores superiores para estos parámetros y que, a su vez, dichos tratamientos fueron los de menor temperatura. Por tanto, teniendo presente que en el proceso de transformación del amonio a nitrito y posteriormente a nitrato intervienen las bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, respectivamente, y que la velocidad a la cual estos organismos efectúan tal proceso biológico es mediada por la temperatura²⁴, entonces una menor temperatura hace que este proceso sea más lento, conllevando a una acumulación de amonio y nitrito en cada fase de este proceso^{25, 26}.

De manera opuesta, el factor B no tuvo un efecto significativo ($p=0,36$) sobre los fosfatos; sin embargo, sus valores fueron inferiores a los recomendados en la literatura (0.5-1.5 mg/L) para aguas de producción dulceacuícolas tropicales²⁵; lo anterior básicamente porque el flujo de fósforo está más relacionado con la actividad del fitoplancton en la columna de agua y con la descomposición en el fondo del estanque que a la actividad de las comunidades perifíticas²³. Otro asunto a considerar que de manera directa afecta la concentración de fosfatos en el agua es el hecho de abonar los estanques de producción, que no fue el caso del presente estudio, básicamente porque lo que se propende con propuestas investigativas como estas es la sostenibilidad

de un sistema que logre reciclaje de nutrientes y no la asimilación de nutrientes autóctonos.

El efecto no significativo del factor sustrato para fijación de perifiton sobre la dureza pudo deberse, como se mencionó con anterioridad, al poco crecimiento y desarrollo observado en el perifiton que propiciara un agua con mayor reciclaje de nutrientes y, por tanto, más productiva.

En cuanto a lo hallado para la alcalinidad, y la interacción encontrada entre el factor sustrato (B) con el tiempo (tabla 1), lo que se puede decir es que su progresión en el tiempo a partir del mes 5 podría indicar que si bien la colonización de los sustratos por parte de las comunidades perifíticas estuvo limitada, fue condición suficiente para impactar tal parámetro a través del tiempo; analizando el efecto del factor tiempo sobre la alcalinidad en los estanques con sustratos, la tendencia es creciente. Aunque tal y como se registró para la dureza (parámetro muy relacionado con la alcalinidad), en tiempos específicos no se encuentran diferencias entre los tratamientos con sustratos y aquellos que no los poseían.

Lo encontrado para el factor estrategia alimentaria (A) muestra una dinámica concatenada entre las variables respuesta; la alcalinidad para el caso de las unidades experimentales carentes de alimentación fue significativamente menor a partir del mes 5 hasta la conclusión de la experimentación; tal situación va de la mano con una cantidad mayor de amonio en los tiempos específicos 6 y 7 vislumbrado que aportes nitrogenados provenientes del alimento exógeno propician una mayor tasa de nitrificación soportada en alcalinidades altas y en amonio disponible, tal y como lo describe Azim et al.²⁰ en sus modelos conceptuales, que conlleva, además, la demanda de oxígeno en conversión de este amonio en nitrato asimilable para el componente autotrófico, razón última que probablemente soporte lo bajo de los niveles de oxígeno disuelto (tabla 3) para los niveles A2 y A3, en comparación con aquellos estanques que no contaron con alimentación externa (A1) e, incluso, a pesar de que las zonas fóticas para los estanques sin alimentación fueron significativamente menores en el mes 6, específicamente. Esto último bien podría ser explicado por la presión de ramoneo llevada a

cabo por las especies del policultivo en cuestión, y reafirman que densidades de siembra adecuadas y la bioturbulencia generada por los peces en este tipo de experimentos con sustratos son asuntos críticos a la hora de experiencias futuras.

De manera similar, la dureza parámetro muy relacionado con la alcalinidad muestra un efecto principal significativo ($p=0.028$) para el factor A, al ser mayores los valores para aquellas unidades experimentales que contaron con alimentación exógena.

De manera opuesta, para los parámetros fosfato, temperatura y pH no se registra injerencia del factor A, aunque con respecto al pH bien podría haberse esperado un efecto dentro de la conexión de eventos antes mencionados, apoyados en que la descomposición de nutrientes y la nitrificación misma conlleva una producción de dióxido de carbono (CO_2) acidificante en los cuerpos de agua. No obstante, teniendo en cuenta que el pH en los cuerpos de agua resulta muy estable si la forma de carbono predominante en estos ecosistemas es bicarbonato (HCO_3^-) que tiene el atributo de comportarse como una solución buffer o amortiguadora, podría explicarse en parte lo homogéneo de tal parámetro en los diferentes niveles del factor A.

Los resultados que se observaron permitieron conocer el efecto que tiene la implementación de un sistema basado en perifiton sobre algunos parámetros de calidad de agua en un policultivo de tilapia y bocachico. Si bien el perifiton ejerció un efecto significativo sobre algunos de estos parámetros, el mismo no necesariamente fue positivo; de igual forma, es importante ver en futuros estudios porcentajes de proteínas más alejados en cuanto a contenido proteico y su impacto directo sobre variables de la calidad fisicoquímica de agua en aras de encontrar herramientas que se ciñan a una acuicultura responsable con el ambiente.

Conclusión

Dada la gran complejidad ecológica de estos sistemas y las diversas interacciones entre los factores bióticos y abióticos de los policultivos, es necesario llevar a cabo más estudios y eva-

luaciones en esta clase de sistemas u otros relacionados, con el fin de establecer posibles medidas de manejo en el ámbito local, que permitan reconocer y aprovechar los potenciales beneficios de los sistemas basados en perifiton reportados en otras regiones del mundo.

Referencias bibliográficas

1. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO. Revisión del estado mundial de la acuicultura, servicio de recursos continentales y acuicultura, División de recursos pesqueros. Roma: Departamento de pesquerías de la FAO, 2003. p. 6–32.
2. _____. Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Roma: Departamento de pesca y acuicultura de la FAO, 2009. p. 3–25
3. _____. State of World Aquaculture 2006. Inland water resources and aquaculture service. Rome: Fishery Resources Division, FAO fisheries department. Fisheries technical paper, 2006. p. 5-13.
4. EDWARDS, Peter. Environmental issues in integrated agriculture–aquaculture and wastewater fed fish culture systems. En: Pullin, R.S.V., Rosenthal, H., Maclean, J.L. (Eds.), Environment and Aquaculture in Developing Countries 1993. Vol. 31, p. 139–170.
5. BEVERIDGE, Malcom; WAHAB, Abdul and DEWAN, Somen. Effects of daily harrowing on pond soil and water nutrients levels and on rohu fingerlings production. En: Progressive Fish-Culture. 199. Vol. 56, p. 282–287.
6. OLAH, J.; *et al.* Nitrogen processing and retention in Hungarian carp farms. En: Journal Apply Ichthyology. 1994. Vol. 10, p. 335–340.
7. ACOSTA-NASSAR, M. V.; MORELL, J. M. and CORREDOR, J. R. The nitrogen budget of a tropical semi-intensive fresh water fish culture pond. En: Journal World Aquaculture Society. 1994. Vol. 25, Nº2, p. 261–270.
8. GROSS, Amid; BOYD, Claude and WOOD, Wesley. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. En: Aquacultural Engineering. 2000. Vol. 24, p. 1–14.
9. PIEDRAHITA, Raul. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. En: Aquaculture. 2003. Vol. 226, p. 258-270.
10. AZIM, Ekram; *et al.* Periphyton ecology, exploitation and management. United Kingdom: CABI Publishing UK. 2005.
11. VAN DAM, Anne; *et al.* The potential of fish production based on periphyton. En: Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2002. Vol. 12, p. 1-31.
12. KESHAVANATH, Peter; *et al.* Effects of bamboo substrate and supplemental feeding on growth and production of hybrid red tilapia fingerlings (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*). En: Aquaculture. 2004. Vol. 235. p. 303-314.
13. LITTELL, R. C. *et al.* SAS ® System for Mixed Models. SAS Institute. Cary (North Carolina, USA), 1996. 633 p.
14. LITTELL, R. C.; HENRY, P. R. and AMMERMAN, C. B. Statistical Analysis of repeated measures using SAS procedures. En: Journal of Animal Science. 1998. Vol. 76, p. 1216-1231
15. AZIM, Ekram; *et al.* Periphyton–water quality relationships in fertilized fishponds with artificial substrates. En: Aquaculture. 2003. Vol. 228, p. 169–187.
16. HOBSON, A. J. and NEILSON, Bethany. Effects of shortwave radiation on instream temperatures due to increased turbidity, substrate color variation, and reflection changes. (Undergraduate Research). United States: Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, 2009.
17. ATENCIO-GARCÍA, V.; *et al.* Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). En: MVZ-Córdoba. 2003. Vol. 8, Nº1, p. 254-260
18. YOSSA, Martha Inés; HERNÁNDEZ-ARÉVALO, Gilma y VASQUEZ-TORRES, Wálter. Efecto del “coporo”, *Prochilodus maiae* (*Caharaciformes: Prochilontidae*), sobre la calidad del agua en sistema de policultivo. En: Actualidades Biológicas. 2009. Vol. 31, Nº1 Supl., p. 199.
19. MILSTEIN, A. Effects of the filter feeder silver carp and the bottom feeders migral and common carp on small indigenous fish species (SIS) and pond ecology. En: Aquaculture. 2006. Vol. 258, p. 439-451
20. AZIM, M. E.; *et al.* Periphyton–water quality relationships in fertilized fishponds with artificial substrates. En: Aquaculture. 2003. Vol. 228, p. 169–187.
21. READER, U.; RUZICKA, J. and GOOS, C. Characterization of the light attenuation by periphyton in lakes of different trophic state. En: Limnologica. 2010. Vol. 40, p. 40-46
22. UDDIN, Sharif; *et al.* Effects of stocking density, periphyton substrate and supplemental feed on biological processes affecting water quality

- in earthen tilapia–prawn polyculture ponds. En: Aquaculture Research 2008; 39: 1243-1257.
23. MILSTEIN, Ana, *et al.* The effects of periphyton, fish and fertilizer dose on biological processes affecting water quality in earthen fish ponds. En: Environmental Biology Fishes. 2003. Vol. 68, p. 247–260.
24. CURTIS, H.; *et al.* Biología. 7ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2008.
25. VINATEA, Luís Alejandro. Princípios químicos de qualidade da água em aqüicultura una revisão para peixes e camarões. 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.
26. DE LA MORA, Genoveva; *et al.* Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. En: Hidrobiológica. 2003. Vol. 13, Nº 4, p. 247-253.