

Uso de perifiton en un sistema de policultivo en agro acuicultura integrada en la comunidad indígena de Jimaín, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)

J. C. Durán-Izquierdo¹, R. J. Mindiola-Romo¹, G. A. Wills-Franco¹,
S. C. Pardo-Carrasco², A. P. Muñoz-Ramírez^{1,3*}

Artículo recibido: 22 de octubre de 2020 · Aprobado: 30 de noviembre de 2020

RESUMEN

Los Sistemas de Agro Acuicultura Integrada (SAAI) han sido estudiados como opción para la producción de pescado en comunidades con recursos limitados. Así mismo, el uso de perifiton se ha convertido recientemente en una alternativa viable por el aporte de alimento natural de bajo costo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del perifiton sobre el desempeño productivo del policultivo *Piaractus* sp. (cachama híbrida) y *Prochilodus magdalenae* (bocachico) en SAAI en la comunidad Indígena de Jimaín, Colombia. Se sembraron 1,5 alevinos de cachama híbrida y 1,5 bocachicos/m², con peso promedio de 0,49 ± 0,14 g y 1,83 ± 1,61 g respectivamente, en seis estaques en tierra de 90 m² tres de los cuales contaron con varas de madera (3 varas/m²) para la fijación de perifiton. La duración del cultivo fue de 135 días. Los tratamientos (CS: con sustrato y SS: sin sustratos) recibieron una dieta suplementaria dos veces al día, calculada como porcentaje de la biomasa con ajuste quincenal. Se realizaron biometrías quincenales. Los datos productivos por especie y para el policultivo se evaluaron mediante ANOVA con un modelo lineal general ($p < 0,05$). Los datos de peso (g) y longitud estándar (cm) por especie se evaluaron mediante un modelo mixto de medidas repetidas. No se encontraron efectos del sustrato sobre los parámetros productivos analizados tanto para cada especie, como para el policultivo. Se presentó interacción significativa para el peso del bocachico el día 90 (CS: 74,7 y SS: 47,1). Según los resultados obtenidos, la utilización de perifiton y el manejo en policultivo de especies nativas requiere más estudios.

Palabras clave: *Piaractus* sp., piscicultura, *Prochilodus magdalenae*, recursos alimentarios, suplementos artesanales.

¹ Grupo de Investigación UN-ACUICTIO, Departameto de Producción Aniamal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera 30 # 45-03, Edificio 561, Oficina 5, Bogotá (Colombia).

² Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Carrera 65 # 59A -110, Bloque 50 oficina 309. Medellín (Colombia).

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

Periphyton-based polyculture in an integrated agri-aquaculture system at the indigenous community of Jimaín, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)

ABSTRACT

Integrated agri-aquaculture systems (IAAS) have been studied as an option for fish production in communities with limited resources. Likewise, the use of periphyton has recently become a viable alternative for its contribution of low-cost natural food. The effect of periphyton use on the productive yield of a hybrid cachama and bocachico polyculture in IAAS, was studied in the Jimaín Indigenous community, Colombia. For this experiment, 1.5 hybrid cachama and 1.5 bocachico fingerlings/m² were stocked with average weights of 0.49 ± 0.14 g and 1.83 ± 1.61 g, respectively, in six 90 m² land ponds; three of these ponds had wooden dowels (three dowels/m²) for periphyton fixation. The growth evaluation lasted 135 days. The treatments (WS: with substrate and WOS: without substrates) received a supplementary diet, adjusted as a percentage of the biomass with biweekly adjustment, twice a day. Biometrics were performed every two weeks. The productive data by species and for the polyculture were evaluated using an ANOVA with a general linear model ($p < 0.05$). Weight (g) and standard length (cm) data by species were evaluated using a mixed model of repeated measures. No substrate effects were found on the productive parameters analyzed for each species as well as for the polyculture. A significant interaction was observed for bocachico weight on day 90 (WS: 74.7 and WOS: 47.1). According to the obtained results, optimizing the use of periphyton and the management of native species polyculture requires further studies.

Keywords: *Piaractus* sp., fish culture, *Prochilodus magdalenae*, food resources, artisanal supplement.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento mundial de la acuicultura es superior a otros sectores; mientras esta ha crecido en promedio 5,8% en los últimos 20 años, actividades pecuarias y agrícolas apenas alcanzan un 3% (Ahmed *et al.* 2014; FAO 2018). El informe del estado mundial de la pesca y la acuicultura presentado por la FAO (2018) indica que el pescado aporta cerca del 17% de la proteína animal consumida en el mundo. De esta manera, la acuicultura es una alternativa rentable para mitigar la demanda de alimento generada por el rápido crecimiento de la población mundial. Al presentar diversidad de sistemas y

de intensificación, permite producir más alimento por "gota de agua" y por área de cultivo, aspectos indispensables para lograr seguridad alimentaria, generación de empleo y mejoras sociales en ámbitos locales (Ahmed *et al.* 2014; Béné *et al.* 2016; FAO 2018; Hanjra y Qureshi 2010).

Entre las técnicas acuícolas extensivas se encuentra el Sistema de Agro Acuicultura Integrada – SAAI (IAAS, por sus siglas en inglés), definido como un modelo de producción formado por la asociación interactiva de varios subsistemas productivos (FAO 2004), en el cual se integran la acuicultura rural en pequeña escala con dinámicas productivas agrícolas, pecuarias

y sociales (Murray y Little 2000). Este sistema resulta menos invasivo al entorno, permite utilizar recursos locales y subproductos vegetales, con producción adicional de alimento (Ahmed *et al.* 2014; Edwards 2015). El SAAI genera beneficios a raíz de la diversificación de la producción, aprovechamiento de todos los ecosistemas y menor impacto ambiental por reciclado de materia orgánica, así como la posibilidad de fabricar suplementos locales para la alimentación de los peces (Ahmed *et al.* 2014).

Los SAAI generalmente se desarrollan con especies nativas adaptadas al medio. En Colombia se encuentran especies con características únicas como *Prochilodus magdalenae* (bocachico), de hábito detritívoro e iliófago (Atencio-García *et al.* 2003) y *Piaractus* sp. (cachama híbrida), de hábito omnívoro caracterizada por ser frugívora, herbívora y zoopláncotófa, lo cual hace que aproveche de manera efectiva los recursos del estanque (Contreras y Canchila 2012; Cruz-Velasquez *et al.* 2014). El policultivo de estas especies presenta potencial de desarrollo en los sistemas integrados, puesto que aprovechan las dinámicas de integración y los flujos de nutrientes del estanque y permiten el uso de recursos locales para su alimentación (Ahmed *et al.* 2014).

Por otro lado, la acuicultura integrada requiere desarrollar nuevas técnicas para mejorar la eficiencia productiva, potenciar sus cualidades de sostenibilidad y garantizar el suministro de alimento. En esa medida, el uso de perifiton abre nuevas alternativas para la acuicultura extensiva y semi-intensiva, así como para la acuicultura orgánica y ecológica (Azim *et al.* 2002a; García *et al.* 2011). El perifiton es un componente de las comunidades bióticas acuáticas, constituido en su mayoría por

un complejo de microbiota adherido a un sustrato que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto (Biswas *et al.* 2017; Moreno 2013; Ramesh *et al.* 1999). La instalación de sustratos para la propagación de perifiton puede aumentar la fuente de alimento vivo en el agua (Moreno 2013) y facilitar el reciclaje de energía, ya que los microorganismos adheridos son utilizados como alimento por las cadenas tróficas superiores (Pomeroy *et al.* 2007). Los sustratos artificiales sumergidos en la columna de agua facilitan la formación de bio-películas que promueven la productividad natural (Asaduzzaman *et al.* 2009; Azim *et al.* 2002a; Milstein *et al.* 2008; Thompson *et al.* 2002). Los flóculos perifíticos presentan altos contenidos de proteína, ácidos grasos y vitaminas que contribuyen a satisfacer los requerimientos de los peces y mejorar los indicadores de productividad y parámetros ambientales (García *et al.* 2011; García *et al.* 2017; Voltolina *et al.* 2013).

Autores como Tortolero *et al.* (2015) y Voltolina *et al.* (2013) manifiestan que el perifiton constituye una fuente de alimento natural relevante, ya que presenta rápida renovación de la biomasa, es de bajo costo y depende de recursos locales, aspectos importantes para los sistemas agro acuícolas con enfoques ecológicos.

De esta manera, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del uso de perifiton sobre el desempeño productivo del policultivo de tipo semi-intensivo, cachama híbrida-bocachico en SAAI en la comunidad Indígena de Jimaín, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la huerta de la Comunidad indígena de Jimaín,

resguardo Arhuaco de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), ubicada en la zona rural del municipio de Valledupar, departamento del Cesar en la región Caribe de Colombia. Para el estudio se construyeron seis estanques en tierra de 90 m², con un metro de profundidad. Para evitar filtraciones, los estanques fueron recubiertos con doble capa de plástico negro (calibre 6); el suministro de agua fue utilizado únicamente para reponer las pérdidas por evaporación y filtraciones ocasionadas por el manejo.

En tres de los seis estanques se instalaron varas de material vegetal local previamente secadas (1,20 m de longitud y 0,06 m diámetro), a razón de 3 varas/m², con el fin de utilizarlas como sustratos para la fijación de perifiton. Para evitar rompimiento del plástico las varas fueron colgadas verticalmente de cuerdas de alambre y sujetadas con el mismo material en la parte inferior, quedando sumergidas un metro dentro del agua. Las varas aportaron un área de fijación adicional de 37,4% de la superficie en cada estanque, el cual se determinó en función del área de los cuatro taludes y fondo con el área adicional que aportaban las varas. Se estudiaron dos tratamientos experimentales, donde el factor evaluado fue la presencia o ausencia de sustratos para la fijación de perifiton: con sustratos (CS) y sin sustratos (SS), con tres unidades experimentales cada uno (estanques).

Posterior a la instalación de los sustratos, los estanques se llenaron con agua proveniente del río Los Clavos para promover la formación de perifiton sobre los sustratos; según las recomendaciones de Azim *et al.* (2003) y Pardo-Carrasco y Bru-Cordero (2014), se realizó la siembra de los alevinos 40 días después del llenado, previa verificación de la calidad del

agua. Durante este período se mantuvo suministro de agua constante para reponer pérdidas por evaporación, que en promedio fue de 7% diario.

Se utilizaron 810 alevinos de cachama híbrida (♀ *Piaractus brachyomus* x ♂ *Colossoma macropomum*, que denominaremos *Piaractus* sp.) y 810 alevinos de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), adquiridos en una granja productora de la región. La densidad de siembra fue de 3 peces/m² (1,5 cachamas híbridas y 1,5 bocachicos/m²), correspondiente a 135 cachamas híbridas y 135 bocachicos por estanque con peso promedio de 0,49 ± 0,14 g y 1,83 ± 1,61 g, respectivamente. Los peces fueron cultivados durante 135 días. Se midieron los siguientes parámetros físico-químicos del agua: oxígeno disuelto (ppm) y temperatura (°C), que fueron registrados dos veces al día (entre 8:00 y 9:00 am; 3:00 y 5:00 pm) con el equipo digital YSI 550A USA; el pH fue determinado con peachímetro digital Extech PH100 and PH110 ExStik pH Meters y la transparencia (cm) con disco de Secchi. Quincenalmente (entre 7:00 y 9:00 am) se determinaron los niveles de dióxido de carbono (mg/l CO₂), amonio (NH₃-N) y alcalinidad (mg/l CaCO₃) utilizando el kit comercial FF-1A FISH FARMING. Todos los parámetros y muestras se tomaron a 20 cm de profundidad, siempre en el área media del estanque.

Para la alimentación de los peces se fabricaron dos dietas suplementarias-DS (alevinaje y levante), siguiendo la fórmula previamente desarrollada para el SAAI en la comunidad de Jimaín (Tabla 1). La composición proximal de estas dietas fue analizada en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia.

Las DS se basaron en el uso de sub-productos locales no aprovechados para alimentación de la comunidad. Los recursos fueron recolectados en la huerta, cortados, secados al sol y molidos en molino eléctrico para granos, hasta obtención de la harina. Posteriormente se realizó pesaje de los recursos según las proporciones establecidas, se mezcló manualmente y se hidrató con 25% de agua. Para facilitar el consumo por parte de los peces y evitar desperdicios, la mezcla

hidratada fue nuevamente molida para formar hojuelas, con posterior secado artesanal. La cantidad a suministrar se calculó según porcentaje de biomasa del policultivo (Tabla 2), de acuerdo con lo recomendado por Pardo-Carrasco y Bru-Cordero (2014), iniciando con 12% y realizando ajustes quincenales de acuerdo a los pesajes. El alimento para alevinaje se suministró durante los primeros 30 días de cultivo y posteriormente se utilizó alimento de levante.

TABLA 1. Fórmula y composición proximal de dietas suplementarias locales para alimentación de cachama híbrida y bocachico (como alimento).

Ingredientes	Nombre científico	Alevinaje (%)	Levante (%)
Malanga (tubérculo)	<i>Manihot esculenta</i>	35	40
Botón de oro (hojas)	<i>Tithonia diversifolia</i>	20	25
Amaranto (hojas y panícula)	<i>Amaranthus dubius</i>	35	15
Malanga (hojas)	<i>Manihot esculenta</i>	10	0
Ñame (tubérculo)	<i>Dioscorea esculenta</i>	0	20
Composición analizada			
Materia seca		90,9	90,7
Proteína cruda		16,4	13,5
Extracto etéreo		0,8	2,3
Fibra cruda		9,1	6,0
Cenizas		10,3	8,2
Calcio		2,0	1,6
Fósforo		0,3	0,3

TABLA 2. Tabla de ajuste de suministro de dieta suplementaria para el policultivo cachama híbrida-bocachico en la comunidad Jimaín, Colombia (basado en Pardo-Carrasco y Bru-Cordero 2014).

Peso del pez (g)	1-10	10-20	20-50	50-70	70-100	100-150	150-200
Biomasa (%)	12	8	5	4	3,5	2,7	2

Parámetros productivos

Al inicio del experimento y cada quince días se realizaron biometrías hasta la cosecha final. Se tomaron muestras correspondientes al 5% de cada especie en cada estanque para registro de longitud estándar (LE) y peso vivo (P) utilizando ictiómetro y una balanza digital (Uniweigh 2000 x, ± 1 g). Finalizado el experimento de 135 días, se contaron y pesaron la totalidad de los peces y se determinaron las siguientes variables de rendimiento:

Sobrevivencia (%): para cada unidad experimental y para cada especie según la fórmula $S = (Nf/Ni) * 100$, donde S es la sobrevivencia, Nf es el número de peces finales y Ni es el número de peces iniciales.

Productividad (kg/ha): se calculó por estanque, para las especies por separado y para el policultivo, según la ecuación $P = (Bf/Ae) * 10000$, en donde Bf corresponde a la biomasa final y Ae al área del estanque.

Ganancia diaria de peso (GDP) (g/día): se calculó para cada una de las especies del cultivo, según la ecuación $GDP = (Pf - Pi) / Nd$, donde Pf y Pi corresponden al peso vivo al final y al inicio del experimento, respectivamente, y Nd al número de días totales del período experimental.

Conversión alimenticia del policultivo: se consideró la biomasa total del policultivo y la oferta total de alimento, calculada mediante la ecuación $CA = Ac / Bf$, donde Ac corresponde al alimento ofrecido por estanque y Bf biomasa final.

Tasa de crecimiento específico (TCE): se calculó para cada una de las especies en cultivo con la ecuación $TCE = (LnPf - LnPi) / Nd * 100$, donde LnPf y LnPi representan el logaritmo natural del peso final o del peso inicial, respectivamente.

Crecimiento total (cm): se usó la ecuación $CT = Lf - Li$, donde Lf y Li representan la longitud estándar final e inicial.

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con dos tratamientos y tres réplicas. La sobrevivencia, productividad, tasa de crecimiento específico y conversión alimenticia se analizó con un modelo lineal general ($p < 0,05$) de una vía. A su vez, los datos de peso y longitud estándar quincenales se evaluaron mediante el modelo mixto de medidas repetidas, de dos factores (tiempo y tratamiento). Los datos de conversión alimenticia, productividad total y sobrevivencia total se evaluaron para el policultivo. Para todos los análisis, se manejó una probabilidad de $p < 0,05$ y se utilizó el software estadístico SAS University Edition (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, 2019).

RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los valores promedios quincenales de los parámetros de calidad de agua estudiados durante el cultivo. En la Tabla 4 se presentan los resultados de los parámetros productivos analizados por especie y para el policultivo, para los cuales no fueron encontradas diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). La prueba de ANOVA de dos vías (tratamiento x días de cultivo) para peso (g) y longitud estándar (cm) no mostró diferencias significativas para las cachamas híbridas ($p > 0,05$; Figura 1); sin embargo, para el peso de los bocachicos se encontró interacción significativa el día 90 entre los factores estudiados ($p < 0,05$; Figura 2).

TABLA 3. Parámetros físico-químicos de calidad de agua durante el policultivo de cachama-bocachico en sistemas de agro acuicultura integrada (SAAI) con (CS) y sin sustrato (SS) para perifiton en la comunidad indígena Jimaín, Colombia. DE: desviación estándar.

Parámetros	Tratamiento	
	CS ± DE	SS ± DE
Oxígeno disuelto (ppm)	7,9±2,9	8,2±3,0
pH	7,9±0,4	8±0,5
Transparencia (cm)	50,8±11,6	48,7±10
CO ₂ (mg/l CO ₂)	15,9±5,5	13,9±5,2
Amonio (NH ₃ -N)	0,1±0,16	0,1±0,14
Temperatura (°C)	27,8±0,6	28,3±0,5
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	82,3±19,7	64,6±28,5

TABLA 4. Parámetros productivos del cultivo de cachama híbrida y bocachico y de su policultivo en sistemas de agro acuicultura integrada (SAAI) con (CS) y sin sustrato (SS) para perifiton. DE: desviación estándar.

Parámetros	Tratamientos	
	SS ± DE	CS ± DE
Cachamas híbridas		
Peso final (g)	108,6±49,1	102,0±25,5
Sobrevivencia (%)	91,1±6,1	87,6±6,0
Productividad (kg/ha)	1455,3±572,2	1351,2±406,9
Ganancia diaria de peso (g/día)	0,80±0,36	0,76±0,19
Longitud estándar final (cm)	13,1±2,2	12,8±0,8
Tasa de crecimiento específico	3,9±0,4	3,9±0,2
Bocachicos		
Peso final (g)	65,7±17,6	90,81±23,6
Sobrevivencia (%)	55,1±6,9	60,5±10,2
Productividad (kg/ha)	546,9±178,0	807,5±176,2
Ganancia diaria de peso (g/día)	0,49±0,13	0,67±0,17
Longitud estándar final (cm)	11,3±1,1	12,4±1,3
Tasa de crecimiento específico	2,6±0,2	2,9±0,2
Policultivo		
Conversión Alimenticia	3,7±0,5	3,7±0,3
Productividad (kg/ha)	1888,9±621,5	2133,2±428,3
Sobrevivencia (%)	73,1±4,7	74,1±3,53

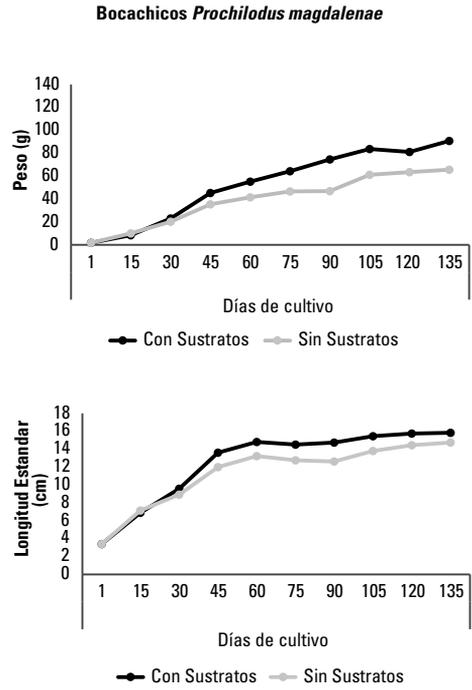
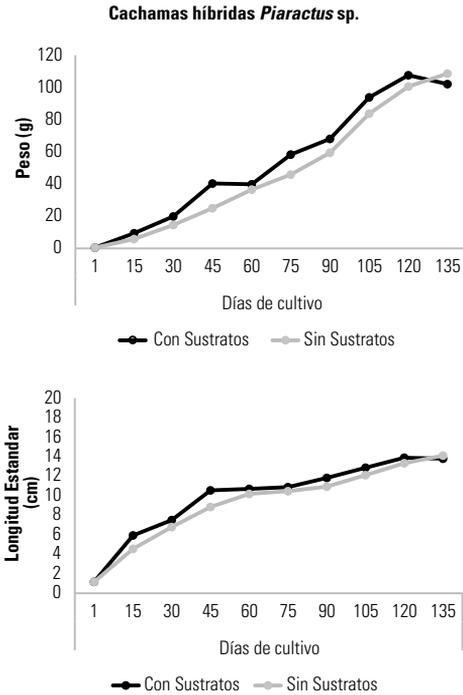


FIGURA 1. Desempeño en peso (g) y longitud estándar (cm) de la cachama híbrida *Piaractus* sp. en el sistema de agro acuicultura integrada, con (CS) y sin el uso de sustratos (SS) durante los días de cultivo ($p > 0,05$).

FIGURA 2. Desempeño en peso (g) y longitud estándar (cm) del bocachico *Prochilodus magdalenae* en el sistema de agro acuicultura integrada, con y sin el uso de sustratos durante el cultivo ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Los parámetros físico-químicos de calidad de agua se mantuvieron en rangos adecuados para el policultivo y de acuerdo con lo recomendado por Contreras y Canchila (2012), García *et al.* (2011) y Pardo-Carrasco y Bru-Cordero (2014). Teniendo en consideración que los peces fueron sembrados 40 días después de instalados los sustratos y llenados los estanques, se observó fijación perifítica (Durán 2019), coincidiendo con lo relatado por Azim, *et al.* (2001b); Azim *et al.* (2002a) y García *et al.* (2011).

En el presente estudio se usó plástico negro como material impermeabilizante para evitar las filtraciones ocasionadas por la presencia de tierra arenosa y abundante piedra, que pueden impedir el intercambio agua-suelo que, según los análisis de García *et al.* (2011), son importantes en trabajos con perifiton y para el desarrollo de especies detritívoras como el sábalo *Prochilodus lineatus* (Della Rosa *et al.* 2014). Aunque el fondo de los estanques no fue en tierra, se encontraron huellas de ramoneo en el perifiton fijado en los

sustratos y el plástico, lo que indicaría que los peces se alimentaron de este recurso.

Desempeño productivo de la cachama híbrida

Aunque no existen estudios relacionados con el uso de perifiton en policultivo de cachama híbrida y bocachico, la propuesta de evaluar el desempeño productivo de la cachama híbrida se origina en su potencial productivo y sus hábitos alimenticios (Ayarza *et al.* 2014; Contreras y Canchila 2012; Romero 2015). En este sentido, Contreras y Canchila (2012) mencionan que la cachama en su etapa inicial es una especie filtradora que puede aprovechar el plancton y el zooplancton, recursos que, según Azim *et al.* (2001a) aumentan con el uso de perifiton.

El área adicional que aportaron los sustratos en el presente estudio fue de 37,4%, que pudo ser insuficiente para formar una adecuada cantidad de perifiton, pues de acuerdo con lo mencionado por Azim *et al.* (2001c) y Uddin *et al.* (2009), para generar efectos sobre el desempeño productivo es necesario un área adicional superior a 60%.

Autores como Azim *et al.* (2001c) y Milstein *et al.* (2008) sugieren utilizar baja densidad de siembra en sistemas basados en perifiton; así mismo, Azim *et al.* (2003) manifiestan que los mejores resultados se encuentran en densidades de 1 a 1,5 peces/m². De esta manera, la densidad de 3 peces/m² empleada en el presente estudio posiblemente ocasionó mayor competencia por alimento y presión sobre la renovación perifítica, aspectos también mencionados por García *et al.* (2017) y Pardo-Carrasco y Bru-Cordero (2014).

Por otra parte, el uso de sustratos de material vegetal pudo afectar la adecuada fijación de perifiton, ya que según Amaidén

y Gari (2011) y Céspedes *et al.* (2016), la presencia de perifiton depende de la estructura física y del material del sustrato. Adicionalmente, Vivekanand y Kundan (2014) y Voltolina *et al.* (2013) afirmaron que la formación de las biopelículas perifíticas se puede ver afectada por el tipo de material, siendo esta fundamental para la producción y renovación del mismo. En ese sentido, Azim *et al.* (2001a) y García *et al.* (2011) reportan que sustratos duros y de color blanco generalmente presentan mejores respuestas. Por su parte, Keshavanath *et al.* (2001) encontraron mejores resultados en las formaciones perifíticas usando bambú; los mismos autores indican que los sustratos vegetales deben manejarse con prudencia, ya que en ocasiones pueden generar contaminación o eutrofización del agua en los estanques.

No obstante, la productividad de las cachamas híbridas en el presente estudio, usando sólo una dieta alternativa basada en recursos locales, es similar a la reportada por Azim *et al.* (2001b) de 1.901 kg/ha en 120 días, trabajando con policultivo de carpas en sistemas basados en perifiton con uso de alimento comercial. Otros estudios en policultivo y perifiton reportan productividad desde 577 kg/ha hasta 2.306 kg/ha en 90 días (Azim *et al.* 2001c). Autores como Uddin *et al.* (2007) reportaron rendimientos de 2.209 kg/ha en 105-días para la especie principal y 163 kg/ha en 105-días para la secundaria, manejando densidades de 3 peces/m²; así mismo, indican que mayor densidad de siembra no necesariamente aumenta los rendimientos. Para los mismos autores, densidades mayores de 3 peces/m² afectan la sobrevivencia y la productividad.

Para Kumar *et al.* (2018) las cachamas presentan buen desempeño en policultivo y pueden aprovechar sus cualidades bilógicas

y adaptarse con diferentes especies; en el presente estudio se observó que pueden cultivarse con bocachicos sin mayores inconvenientes. En los dos tratamientos la cachama híbrida presentó sobrevivencia similar a la reportada por Uchoi *et al.* (2015) para policultivo de la especie, entre 83 a 100%.

Desempeño productivo del bocachico

El uso de sustratos solamente produjo efectos significativos ($p < 0,05$) en la interacción tratamiento x tiempo, para el peso del bocachico a los 90 días, sin que fuese un efecto sostenido a lo largo del tiempo. En este mismo sentido, la falta de diferencias puede estar relacionada con la mayor densidad de siembra respecto a la señalada por Atencio-García *et al.* (2003), menor a 1 pez/m². Así, la densidad total del policultivo de 3 peces/m² utilizada, podría haber ocasionado ramoneo continuo del perifiton, afectando su renovación y por lo tanto la oferta de nutrientes esperada. Autores como Jha *et al.* (2018), Kumar *et al.* (2018) y Milstein *et al.* (2008) destacan la importancia de la densidad de siembra y las especies del policultivo, ya que al no ser adecuadas pueden ocasionar interacciones antagónicas.

Otro factor que pudo haber afectado el desempeño del bocachico es el bajo porcentaje adicional de área para fijación del perifiton, así como la estructura vegetal de los sustratos, su descomposición y color oscuro. Dados los hábitos alimenticios y su predisposición a la alimentación natural (Atencio-García *et al.* 2003; Pardo-Carrasco y Bru-Cordero 2014) es conveniente incrementar la formación de perifiton.

Un aspecto adicional a considerar es la fertilización de los estanques; autores como Azim *et al.* (2002b), Biswas *et al.* (2017) y Santhana *et al.* (2017) mencionan

su importancia en estos sistemas, antes y durante el cultivo, no solamente al utilizar residuos orgánicos como estiércol de ganado o compost, sino químicos como úrea y trifosfatos. En el presente estudio no se incluyó ningún producto orgánico o inorgánico al agua, lo que podría explicar los resultados, ya que las partículas orgánicas de los abonos son desencadenantes de la formación de biopelículas perifíticas y las fuentes inorgánicas son nutrientes que dinamizan las cadenas tróficas del agua y del perifiton fijado en los sustratos. A pesar de los beneficios mencionados, los abonos inorgánicos no son una alternativa en la comunidad por las implicaciones de costos adicionales y por aspectos culturales, sin embargo, los abonos orgánicos sí podrían involucrarse al sistema.

Respecto a las condiciones de manejo durante los pesajes y mediciones quincenales, se observó que estos ocasionaron estrés en los peces, sobre todo en los estanques con sustratos, por los movimientos de las varas de madera al ser retiradas y nuevamente instaladas, ocasionando que los peces de estos estanques dejaran de consumir alimento hasta dos días después de los pesajes. A pesar de esto, parámetros como la productividad y sobrevivencia fueron superiores a los reportados por García *et al.* (2011) de 240 a 300 kg/ha en 240 días y 31% respectivamente; con densidad de 0,7 bocachicos/m² en policultivo con tilapia, con y sin sustratos para perifiton, con área adicional de 67% y uso de ración comercial.

Cabe resaltar que en los estanques CS se obtuvo un 33% más de productividad, respecto a los estanques SS. Autores como Kadir *et al.* (2007); Milstein *et al.* (2008) y Pardo-Carrasco y Bru-Cordero (2014) sugieren que especies con hábitos como el bocachico mejoran la salud de los estanques

al remover los lodos del fondo, aprovechar toda la columna de agua y representar producciones adicionales de pescado que pueden ser utilizadas para autoconsumo y aportar a la seguridad alimentaria.

Desempeño del policultivo

Aunque es conocida la capacidad de la cachama como especie filtradora de fito y zooplancton (Contreras y Canchila 2012) y del bocachico como especie detritívora ramoneadora (Atencio-García *et al.* 2003; García *et al.* 2011), el estudio del sistema como un policultivo no mostró diferencias para ninguno de los parámetros estudiados. La conversión alimenticia para los dos tratamientos fue mayor a la reportada por García *et al.* (2011), quienes encontraron valores entre 1,9 y 2,27 para policultivo de tilapia nilótica y bocachico con y sin perifiton, alimentados con alimento comercial extruido y sin diferencias significativas. Cabe resaltar que en el presente estudio no se ofreció alimento balanceado comercial, sino una oferta de hojuelas fabricada localmente, considerada como dieta suplementaria, pero no completa, la cual pudo haber atendido parcialmente los requerimientos nutricionales de las especies, resultando en los valores mencionados. Por otro lado, se observó que la productividad promedio con el uso de sustratos fue un 11,5% mayor y con sobrevivencias similares. En este sentido, se torna fundamental lo mencionado por Kadir *et al.* (2006) quienes afirman que el policultivo con pequeñas especies nativas (small indigenous fishes) genera un impacto importante para la seguridad alimentaria, lo cual se torna aún más significativo si al realizar el policultivo incluyendo sustratos para fijación de perifiton se genera productividad adicional.

CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales manejadas no se encontraron efectos significativos de los sustratos sobre los parámetros productivos de cachama híbrida y bocachico, al ser considerados por especie o como policultivo. Sin embargo, es importante considerar estudios adicionales que optimicen el tipo y manejo de sustratos, pues el uso de los mismos puede ser una alternativa viable para la producción de alimentos en SAAI en la comunidad de Jimaín.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el proyecto Consolidación de las Capacidades de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario del Departamento del Cesar, mediante el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías. También contó con el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia mediante recursos de convocatorias de extensión solidaria. La investigación realizada no habría sido posible sin la participación de la comunidad y sus autoridades en las actividades experimentales.

REFERENCIAS

- Ahmed N, Ward JD, Saint CP. 2014. Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop.” *Food Security*. 6: 767–779.
- Amaidén MA, Gari EN. 2011. Perifiton en el mesohabitat de un arroyo serrano: dinámica estacional en relación a variables físico-químicas. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*. 46(3–4): 235–250.
- Atencio-García VJ, Eduardo K, Wadnibar L, Narváez A. 2003. Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *MVZ – Córdoba*. 8(1): 254–260.

- Asaduzzaman M, Wahab MA, Verdegem MC, Benerjee S, Akter T, Hasan MM, Azim ME. 2009. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. *Aquaculture*. 287(3–4): 371–380. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.011>.
- Ayarza-Rengifo JA, Rodríguez-Veintemilla A, Ramírez-Cárdenas Y. 2014. Análisis comparativo de tres dietas comerciales del tipo extruido en el crecimiento de alevinos de gamitana (*Colossoma macropomum*) cultivados en estanques en el Centro de Investigaciones de Quistococha, Loreto, Perú. *Conoc. Amaz.* 5(1): 3–14.
- Azim ME, Wahab MA, Van Dam AA, Beveridge MC, Milstein A, Verdegem MC. 2001a. Optimization of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquaculture Research*. 32(9): 749–760. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00613.x>.
- Azim ME, Wahab MA, Van Dam AA, Beveridge MC, Verdegem MC. 2001b. The potential of periphyton-based culture of two indian major carps, rohu *Labeo rohita* (Hamilton) and gonia *Labeo gonius* (Linnaeus). *Aquaculture Research*. 32(3): 209–216. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00549.x>.
- Azim ME, Wahab MA, van Dam AA, Beveridge MCM, Huisman EA, Verdegem MCJ. 2001c. Optimization of stocking ratios of two Indian major carps, rohu (*Labeo rohita* Ham.) and catla (*Catla catla* Ham.) in a periphyton-based aquaculture system. *Aquaculture* 203, 33–49.
- Azim ME, Verdegem MC, Khatoun HY, Wahab MA. 2002a. A comparison of fertilization, feeding and three periphyton substrates for increasing fish production in freshwater pond aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture*. 212: 227–243.
- Azim ME, Wahab MA, Verdegem MC, Van Dam AA, Van Rooij JM, Beveridge MC. 2002b. The effects of artificial substrates on freshwater pond productivity and water quality and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquatic Living Resources*. 15(4): 231–241. [http://doi.org/10.1016/S0990-7440\(02\)01179-8](http://doi.org/10.1016/S0990-7440(02)01179-8).
- Azim ME, Verdegem MC, Singh M, Van Dam AA, Beveridge MC. 2003. The effects of periphyton substrate and fish stocking density on water quality, phytoplankton, periphyton and fish growth. *Aquaculture Research*. 34(9): 685–695. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00867.x>.
- Béné C, Arthur R, Norbury H, Allison EH, Beveridge M, Bush S, Williams M. 2016. Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*. 79: 177–196. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>.
- Biswas G, Sundaray JK, Bhattacharyya SB, Shyne Anand PS, Ghoshal TK, Kailasam M. 2017. Influence of feeding, periphyton and compost application on the performances of striped grey mullet (*Mugil cephalus* L.) fingerlings in fertilized brackishwater ponds. *Aquaculture*. 481(4): 64–71. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.026>.
- Céspedes-Vargas E, Umaña-Villalobos G, Silva-Benavides AM. 2016. Tolerancia de diez especies de diatomeas (*Bacillariophyceae*) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 64(1): 105–115. Disponible en <http://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18295>.
- Contreras H, Canchila E. 2012. Evaluación del rendimiento técnico en Cachama Blanca *Piaractus brachypomus* al sustituir Morera *Morus alba* y Falso Girasol *Tithonia diversifolia* en el alimento balanceado de ceiba. *Revista Citecsa*. 2: 1–12.
- Cruz-Velásquez Y, Kijora C, Vergara-Hernández W, Carsten Schulz. 2014. On-farm evaluation of Cachama blanca and Nile tilapia fed fermented aquatic plants in a polyculture. *Orinoquia suplemento*. 18(2): 269–277.
- Della Rosa P, Roux, J, Sánchez S, Ortiz J, Domitrovic H. 2014. Productividad del sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. *Revista Veterinaria*. 25(2): 126-130.
- Duran JC. 2019. Evaluación del uso de perifiton en Sistemas de Agro Acuicultura Integrada (SAAI) a pequeña escala en la Sierra Nevada de Santa

- Marta, Colombia. [Tesis de maestría]. [Bogotá, Colombia] Universidad Nacional de Colombia.
- Edwards P. 2015. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. *Aquaculture*. 447: 2–14. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001>.
- FAO. 2004. Agro-Acuicultura Integrada. Manual Básico. (Instituto Internacional para la Reconstrucción Rural, Ed.). Roma, Italia. Disponible en <http://www.fao.org/3/y1187s/y1187s00.htm>.
- FAO. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5600s/y5600s00.pdf>.
- García F, Sabbag OJ, Kimpara JM, Romera DM, Sousa NS, Onaka EM, Ramos IP. 2017. Periphyton-based cage culture of Nile tilapia: An interesting model for small-scale farming. *Aquaculture*. 479: 838-844. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.024>.
- García JJ, Celis LM, Villalba EL, Mendoza C, Brú SB, Pardo SC. 2011. Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 58: 71-83.
- Hanjra MA, Qureshi ME. 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*. 35(5): 365–377. <http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006>.
- Jha S, Rai S, Shrestha M, Diana JS, Mandal RB, Egna H. 2018. Production of periphyton to enhance yield in polyculture ponds with carps and small indigenous species. *Aquaculture Reports*. 9: 74-81. <http://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.01.001>.
- Kadir A, Wahab MA, Milstein A, Hossain MA, Seraji MT. 2007. Effects of silver carp and the small indigenous fish mola *Amblypharyngodon mola* and punti *Puntius sophore* on fish polyculture production. *Aquacultural Engineering*. 273(20): 520-531. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.012>.
- Keshavanath P, Gangadhar B, Ramesh TJ, Van Rooij JM, Beveridge MC, Baird DJ, Van Dam AA. 2001. Use of artificial substrates to enhance production of freshwater herbivorous fish in pond culture. *Aquaculture Research*. 32(3): 189-197. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00544.x>.
- Kumar A, Pradhan PK, Das PC, Srivastava SM, Lal KK, Jena JK. 2018. Growth performance and compatibility of pacu, *Piaractus brachyomus* with Indian major carps in polyculture system. *Aquaculture*. 490: 236-239. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.052>.
- Milstein A, Peretz Y, Harpaz S. 2008. Culture of organic tilapia to market size in periphyton-based ponds with reduced feed inputs. *Aquaculture Research*, 40(1): 55-59. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02062.x>.
- Moreno YM. 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*. 16(3): 91-117.
- Murray FJ, Little DC. 2000. The nature of small-scale farmer managed irrigation systems in north west province, Sri Lanka and potential for aquaculture. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/11018604.pdf>.
- Pardo-Carrasco S, Bru-Cordero S. 2014. ¿Es posible disminuir la proteína en el alimento para peces en policultivo con perifiton. Orinoquia. [Internet]. [citado 2019 julio 20] 18(1): 35-42. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092014000100004&script=sci_abstract&tlng=es.
- Pomeroy LR, Williams PJ, Azam F, Hobbie JE. 2007. The Microbial Loop. *Oceanography*. 20(2): 28-33.
- Ramesh MR, Shankar KM, Mohan CV, Varghese TJ. 1999. Comparison of three plant substrates for enhancing carp growth through bacterial biofilm. *Aquacultural Engineering*. 19(2): 119-131. [http://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00046-6](http://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00046-6).
- Romero FL. 2015. Evaluación de tres tipos de alimento en el crecimiento preliminar de la “cachama blanca” (*Piaractus brachyomus*). *Revista Amazonica Ciencia y Tecnología*. 4: 217-234.
- Santhana KV, Pandey PK, Anand T, Bhuvaneshwari R, Kumar S. 2017. Effect of periphyton (aquamat) on water quality, nitrogen budget, microbial ecology, and growth parameters of

- Litopenaeus vannamei* in a semi-intensive culture system. *Aquaculture*. 479: 240-249. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.048>.
- [SAS] SAS Institute Inc. University Edition. Cary, NC, USA. (Citado 2019 agosto 15). Disponible en: https://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html.
- Thompson FL, Abreu PC, Wasielesky W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture*. 203(3-4): 263-278. [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00642-1](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00642-1).
- Tortolero SA, Caverro BA, Brito JG, Soares CC, Silva JL, Barbosa HT, Keshavanath P. 2015. Periphyton-based polyculture of jaraqui, *Semaprochilodus insignis* (Schomburgk, 1841) and tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) with feed supplementation. *Journal of Aquaculture in the Tropics*. 30(3-4): 111-132.
- Uchoi R, Shyama S, Golandaj A, Sreenath VR, Yadav RP. 2015. Growth potential of pacu, *Piaractus Brachypomus* in different culture approach. *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci*. 3(6): 8-13.
- Uddin MS, Azim ME, Wahab MA, Verdegem MC. 2009. Effects of substrate addition and supplemental feeding on plankton composition and production in tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture. *Aquaculture*. 297(1-4): 99-105. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.016>.
- Uddin MS, Farzana A, Fatema MK, Azim ME, Wahab MA, Verdegem MC. 2007. Technical evaluation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) monoculture and tilapia-prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture in earthen ponds with or without substrates for periphyton development. *Aquaculture*. 269(1-4): 232-240. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.038>.
- Voltolina D, Audelo-Naranjo JM, Romero-Beltrán E, Pacheco-Marges M, López-Valenzuela L. 2013. Promoción del perifiton para el cultivo de camarón blanco: hacia una acuicultura ecológica. *Boletim Do Instituto de Pesca*. 39(2): 179-186.
- Vivekanand B, Kundan K. 2014. Biofilm in aquaculture production. *African Journal of Microbiology Research*. 8(13): 1434-1443. Disponible en <http://doi.org/10.5897/AJMR2013.6445>.

Article citation:

Durán-Izquierdo JC, Mindiola-Romo RJ, Wills-Franco GA, Pardo-Carrasco SC, Muñoz-Ramírez AP. 2020. Uso de perifiton en un sistema de policultivo en agro acuicultura integrada en la comunidad indígena de Jimaín, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). [Periphyton-based polyculture in an integrated agri-aquaculture system at the indigenous community of Jimaín, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)]. *Rev Med Vet Zoot*. 67(3): 262-275. Doi: [10.15446/rfmvz.v67n3.93933](https://doi.org/10.15446/rfmvz.v67n3.93933).