

## Desempeño de los sistemas acuícolas de recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Characidae)

Omar Domínguez Castanedo & David Alberto Martínez Espinosa

Laboratorio de Sistemas Acuícolas, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso No. 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, 04960, México, DF., México; odominguez@correo.xoc.uam.mx, maed4024@correo.xoc.uam.mx

Recibido 06-XII-2010. Corregido 08-V-2011. Aceptado 02-VI-2011.

**Abstract: Performance of recirculating aquaculture systems in the intensive farming of Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Characidae).** An alternative to intensify fish production, reducing the environmental impact and production costs are recirculating aquaculture systems (RAS). The performance of a RAS was evaluated, as fish growth and water quality conditions, in a culture of *Piaractus mesopotamicus* reared for ornamental purposes. Two commercial food brands with different protein contents (18%-T1 and 28%-T2), were given to juvenile fishes during an eight weeks period. Growth was measured bi-weekly: standard length (Lp), peak height (A), weight and multiple condition factor (KM). The evaluation of water parameters included: dissolved oxygen,  $\text{NH}_3\text{-NH}_4$ , pH,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , KH carbonate hardness and  $\text{PO}_4$ .  $\text{NH}_3\text{-N}$  rate production was analyzed following Timmons-Ebeling model. Results demonstrated significant differences in weight only, and T2 showed a 7.5% higher value than T1; nevertheless, treatment T1 had a higher KM. In general, water quality values were suitable for growth: OD=T1:  $4.23\pm 1.23$ ; T2:  $4.13\pm 0.86$ ;  $\text{NH}_3$ =T1:  $0.02\pm 0.02$ ; T2:  $0.06\pm 0.10$ ; however, pH was an exception (T1:  $6.95\pm 0.98$ ; T2:  $7.11\pm 1.03$ ), displaying lethal rates (<5) by the fifth week. Systems  $\text{NH}_3$  removal had a 99.4% to 100% efficiency. Final fish biomass was 22.03kg for T1 and 27.49kg for T2. We concluded that the systems were able to maintain suggested density up to the experimental fifth week. Water quality parameters remained in suitable levels, with the pH exception. Cultured fishes reached their commercial size (10cm) in eight weeks. Rev. Biol. Trop. 60 (1): 381-391. Epub 2012 March 01.

**Key words:** recirculating aquaculture systems, *Piaractus mesopotamicus*, water quality, growth, ornamental rearing.

Los sistemas acuícolas de recirculación (SAR) son ampliamente utilizados en la producción intensiva de peces. Estos sistemas permiten superar algunas desventajas de los sistemas de cultivo tradicionales, como por ejemplo: utilizan menos del 90% de agua y espacio; limitan las interacciones con el medio ambiente a través de la contención de los desechos generados durante el proceso acuícola (químicos, heces fecales y peces muertos, entre otros) y, por su capacidad de mantener aislada la producción, reducen la incidencia de enfermedades, la pérdida de individuos, y competencia con la fauna local (Naylor *et al.*

2000, Timmons & Ebeling 2007). También poseen algunas desventajas tales como: su elevado costo, requieren de capacitación para su operación, corriente eléctrica, instalaciones, tecnología especializada, y agua de buena calidad (Timmons & Ebeling 2007).

Los SAR permiten concentrar de nueve hasta 100g/L de biomasa, lo que favorece el incremento en los niveles de amonio-nitrógeno, producto del catabolismo de las proteínas contenidas en los alimentos (Ebeling *et al.* 2006), de tal forma que la magnitud de estos niveles depende directamente de la calidad del alimento. Así, un alimento de una

mayor concentración de proteína promoverá un aumento en los niveles de este compuesto nitrogenado. La ventaja de estos alimentos es que el incremento de proteína en la dieta de los peces disminuye el tiempo en el que alcanzan la talla comercial, aunque la desventaja es que sus precios son más elevados.

Durante el cultivo, la mayor parte del nitrógeno metabólico es excretado por el pez en forma de amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ ). La mayoría de las especies de peces cultivados poseen un rango estrecho de tolerancia a este compuesto, que aún en bajas concentraciones es tóxico por lo que es necesario proveer de mecanismos que mejoren (aumenten) su remoción del cultivo (Eshchar *et al.* 2006), al igual que para otros parámetros que influyen en la calidad del agua como los nitritos, el dióxido de carbono, el pH y los sólidos suspendidos (Ebeling *et al.* 2006, Eshchar *et al.* 2006). La eficiencia en el desempeño de los SAR como dispositivos de cultivo intensivo depende entonces de que el funcionamiento del sistema permita mantener las condiciones de calidad del agua necesarias para que la especie en cultivo tenga tasas de crecimiento adecuadas (Timmons & Ebeling 2007).

El uso de los SAR se ha restringido a peces convencionales de importancia socio-económica; sin embargo, su potencial también puede ser aprovechado en especies no convencionales tales como el pacú *Piaractus mesopotamicus*-pez nativo del sistema lacustre Paraná-Paraguay, en la porción tropical de Sudamérica-. La pesca del pacú ha provocado una reducción importante de sus poblaciones naturales, además la continua presión antrópica sobre los recursos naturales ha resultado en el deterioro de su hábitat, razones por las cuales se ha incrementado su producción en sistemas semi-intensivos. Adicionalmente, el pacú es un pez con buena tolerancia a los valores críticos de los parámetros limitantes de calidad de agua y de fácil adaptación a los alimentos balanceados (Schleser 1997, Pinkguni 2003).

En países sudamericanos el pacú goza de un amplio consumo entre las poblaciones de escasos recursos por su gran masa muscular, elevada tasa de crecimiento y carne de

excelente calidad; sin embargo, en México es un pez poco conocido, ajeno a los gustos de los consumidores, y su importancia radica en su demanda como pez de ornato por su gran parecido a la piraña, pues pertenecen a la misma sub-familia (Lovshin 2010). Por lo tanto, el Pacú, al igual que muchos otros peces, resulta ser un buen candidato como sujeto de estudio en los SAR.

En el presente trabajo se evalúa el desempeño de los SAR para el cultivo intensivo de pacú como pez de ornato; con dos alimentos de diferente contenido proteico, evaluado a partir del crecimiento de los peces y de la capacidad de los sistemas para mantener rangos aceptables en los principales parámetros de calidad de agua, durante el tiempo que tardan los peces en llegar a talla comercial (10cm).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Sistemas Acuícolas de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco ( $19^{\circ}18'11''$  N -  $99^{\circ}06'07''$  W). Asimismo, se evaluaron dos tratamientos con una réplica cada uno en SAR comerciales horizontales, Mini-Fish Farm, Aquatic Ecosystems®, circulares, con volumen de 1 890 litros, con velocidad de filtración de 360 litros por hora y una capacidad de carga máxima de 22.68kg, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, el estanque tiene un diámetro de 1.50m y una altura de 0.90m, un filtro mecánico de sedimentación y uno biológico a base de soportes de porcelana. Además, se cultivaron 1 200 individuos de la especie *Piaractus mesopotamicus* por tratamiento. La biomasa, longitud, altura y peso iniciales fueron de 0.50g/L,  $2.89\pm 0.25$ cm,  $1.27\pm 0.25$ cm y  $0.731\pm 0.21$ g, respectivamente. La temperatura fue controlada con un termostato Process Technology®, y se mantuvo constante en  $26\pm 1^{\circ}\text{C}$  a lo largo de todo el experimento.

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: Tratamiento 1 (T1): alimento comercial peletizado de 2.5mm para tilapia, Silver Cup-El Pedregal®, de menor costo: US\$ 0.68 por kg y un mínimo de 18% de

proteína. Tratamiento 2 (T2): alimento comercial peletizado de 2.5mm para trucha, Silver Cup-El Pedregal®, de mayor costo: US\$ 1.54 por kg y un mínimo de 28% de proteína. Los peces fueron alimentados según los protocolos aplicados en las granjas comerciales de tilapia, de acuerdo con la biomasa de los peces (Chhorn & Webster 2006). La cantidad de alimento proporcionado a los peces se estimó en función de dos aspectos: 1) el peso de los organismos obtenido en cada medición, realizada quincenalmente, 2) el porcentaje de biomasa (siete, cinco, tres y tres por ciento respectivamente para cada quincena del experimento).

Cada 15 días se registraron las siguientes variables morfométricas: el peso se obtuvo con una balanza digital ( $\pm 0.001g$ ), la longitud estandar ( $L_p$ ) y altura máxima del cuerpo ( $A$ ) con un calibrador vernier ( $\pm 0.01mm$ ). En cada medición se estimó el tamaño de muestra, de acuerdo con Marañón *et al.* (1999) y Cochran (1980):

$$N = ((2 \times D.E) / E.D.)^2$$

donde:

N=Tamaño de muestra  
D.E=Desviación estándar  
E.D=Error deseado

El crecimiento de los peces se evaluó con base en el incremento de peso, longitud y altura.

Además, se estimó el Factor de Condición Múltiple (KM), por considerarlo un indicador de la eficiencia para transformar el alimento en biomasa y la utilización de la energía (Ricker 1975, Medina 1979), la ecuación que se usó fue:

$$KM = (W/L^b \times A^c) \times 100$$

donde:

KM=Factor de condición múltiple  
W=Peso (g)  
L=Longitud (cm)

b=Coefficiente de regresión de la longitud contra el peso

A=Altura (cm)

c=Coefficiente de regresión de la altura contra el peso

Con el objeto de describir el patrón de crecimiento se determinó la distribución de la talla y el peso de los peces por quincena (Hoaglin *et al.* 1991).

La calidad de agua se registró midiendo semanalmente los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (OD), con un oxígeno digital con precisión de  $\pm 0.1mg/L$ ; y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) de la relación indirecta entre el pH con la dureza por carbonatos (KH). Los valores para el amonio ionizado ( $NH_4$ ), nitritos ( $NO_2$ ), nitratos ( $NO_3$ ), KH y fosfatos ( $PO_4$ ), se estimaron con un espectrofotómetro multiparamétrico con precisión de  $\pm 0.01mg/L$ . El pH se obtuvo con un potenciómetro digital con precisión de  $\pm 0.2$ . El amonio no ionizado ( $NH_3$ ), de la relación indirecta entre  $NH_4$ , la temperatura y el pH.

Para evaluar la capacidad de metabolizar el amonio-nitrógeno se utilizó el modelo propuesto por Timmons & Ebeling (2007):

$$PTAN = F \times PC \times 0.092$$

donde:

PTAN=Tasa de producción de amonio-nitrógeno total por día (kg/día)  
F=Ración alimenticia (kg/día)  
PC=Concentración de proteína en el alimento (valor decimal)

Los resultados arrojados por el modelo fueron extrapolados a cifras quincenales para obtener la diferencia entre los datos generados por el modelo y los obtenidos en los muestreos de amonio-nitrógeno. Por otro lado, la concentración de proteína utilizada para el modelo fue la indicada por el fabricante.

La evaluación del desempeño de los SAR, se efectuó, mediante lo siguiente: 1) los registros semanales de los parámetros de calidad de agua y sus interacciones, 2) la tasa de

eliminación de amonio, 3) la sobrevivencia y 4) el crecimiento de los peces.

Para conocer el efecto de la calidad del alimento sobre los parámetros morfométricos de los peces (peso, longitud patrón y altura) y la calidad de agua, se realizó una prueba de t de student con un nivel de significancia de 0.05.

## RESULTADOS

**Crecimiento:** Los valores iniciales, finales, así como el incremento en gramos y la ganancia en porcentaje de peso, longitud y altura de los peces se muestran en el Cuadro 1.

Al comparar los dos tratamientos, sólo se registraron diferencias significativas en el peso de los peces (t-student,  $p < 0.02$ ), donde el T2 (28% de proteínas) presentó el mayor incremento en gramos y en porcentaje (Fig. 2). Los peces con mayor longitud estándar (Fig. 1) y altura máxima fueron los del T2, sin observar diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

### Factor de Condición Múltiple (KM):

Los peces del T1 (de 18% de proteína) presentaron un KM mayor. El patrón en el uso de la energía muestra un almacenamiento en la primera quincena de crecimiento, seguido

CUADRO 1  
Indicadores del crecimiento según los tratamientos

TABLE 1  
Growth indicators by treatment

	Tratamiento	Inicial±D.E	Final±D.E.	Incremento	Ganancia%	r <sup>2</sup>
Peso (gr)	T1	1.73±0.73	16.96±2.56*	15.23	89.73	0.82
	T2	2.17±0.30	22.96±2.54*	22.26	96.87	0.99
Longitud patrón (cm)	T1	3.53±0.45	7.56±1.59	4.02	53.28	0.91
	T2	3.65±0.33	7.99±1.25	5.23	65.46	0.98
Altura (cm)	T1	1.73±0.29	4.07±0.37	2.34	57.41	0.92
	T2	1.74±0.30	4.37±0.82	3.18	72.71	0.97

T1= Tratamiento 1 (18% de proteína), T2=Tratamiento 2 (28% de proteína),\*=Presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

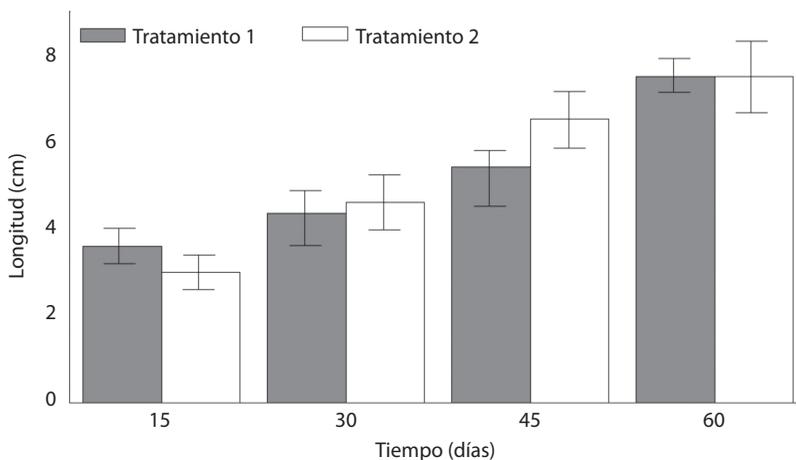
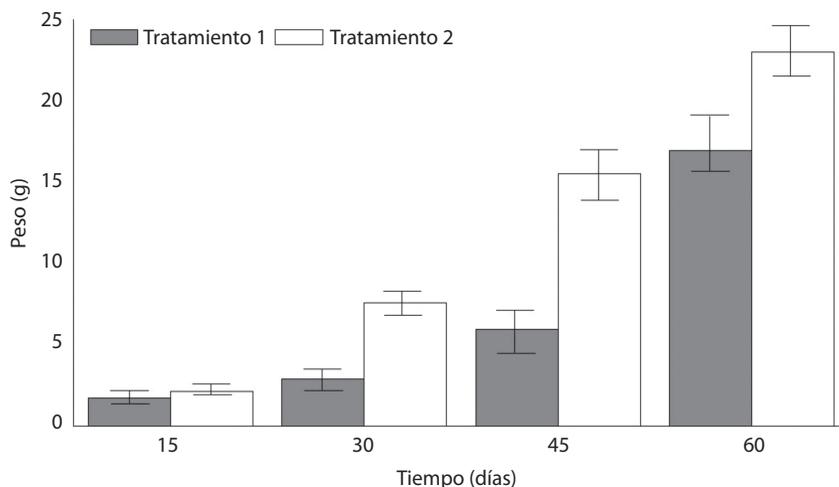


Fig. 1. Valores de longitud estándar de *P. mesopotamicus* durante el cultivo.

Fig. 1. Values of standard length of *P. mesopotamicus* during their culture.



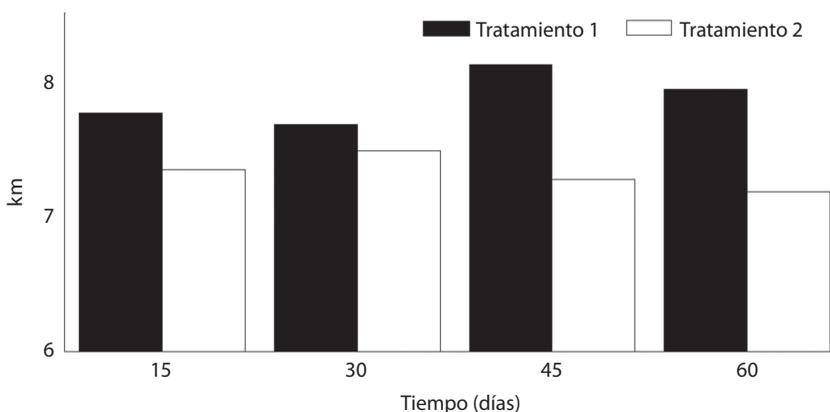
**Fig. 2.** Valores del peso de *P. mesopotamicus*.  
**Fig. 2.** Values of the weight of *P. mesopotamicus*.

de su utilización en la quincena siguiente. El patrón se repite durante las tercera y cuarta quincenas (Fig. 3).

**Calidad de agua:** Los valores mínimos, máximos y promedio de los parámetros de calidad de agua se muestran en el Cuadro 2. Durante la mayor parte del periodo experimental el T2 presentó las menores concentraciones de oxígeno disuelto (Fig. 4), sin presentarse

diferencias significativas entre los dos tratamientos (t-student,  $p > 0.05$ ).

Las concentraciones más elevadas de  $\text{CO}_2$  se presentaron en el T2. En ambos tratamientos los niveles se incrementaron a partir de la quinta semana, y se elevó drásticamente en la semana ocho, sin tener repercusiones en los peces. De tal manera que se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (t-student,  $p < 0.05$ ) (Fig. 4).



**Fig. 3.** Modelo del factor de condición múltiple en *P. mesopotamicus*.  
**Fig. 3.** Model of the multiple condition factor of *P. mesopotamicus*.

CUADRO 2

Calidad de agua para los componentes considerados en los dos tratamientos evaluados

TABLE 2

Water quality for the considered components in the two evaluated treatments

Parámetro	Tratamiento	Mínimo	Máximo	Promedio±D.E.	n
O.D. °	T1	2.30	5.66	4.23±1.23	8
	T2	2.85	5.26	4.13±0.86	8
NH <sub>4</sub> °	T1	0.26	16.37	5.96±6.31	8
	T2	0.00	17.48	5.82±6.09	8
NH <sub>3</sub> °	T1	0.00321	0.072	0.02±0.02	8
	T2	0.00	0.30	0.06±0.10	8
NO <sub>2</sub> °	T1	0.00	10.00	4.50±3.74	8
	T2	1.00	29.00	12.00±9.84	8
NO <sub>3</sub> °	T1	0.44	130.24	82.12±49.26	8
	T2	7.09	200.23	123.18±62.85	8
pH	T1	5.71	8.20	6.95±0.98	8
	T2	5.87	8.52	7.11±1.03	8
PO <sub>4</sub> °	T1	0.70	18.20	10.45±6.11	8
	T2	2.10	13.11	6.23±3.54	8
KH†	T1	0	7	2±2.30	8
	T2	0	6	2±2.50	8
CO <sub>2</sub> °	T1	1.00*	34.00*	52.1*±119.69	8
	T2	0.60*	108.00*	20.3*±36.28	8

T1=Tratamiento 1 (18% de proteína), T2=Tratamiento 2 (28% de proteína), °=mg/L, †=°dH, \*=Presenta diferencias significativas (p<0.05).

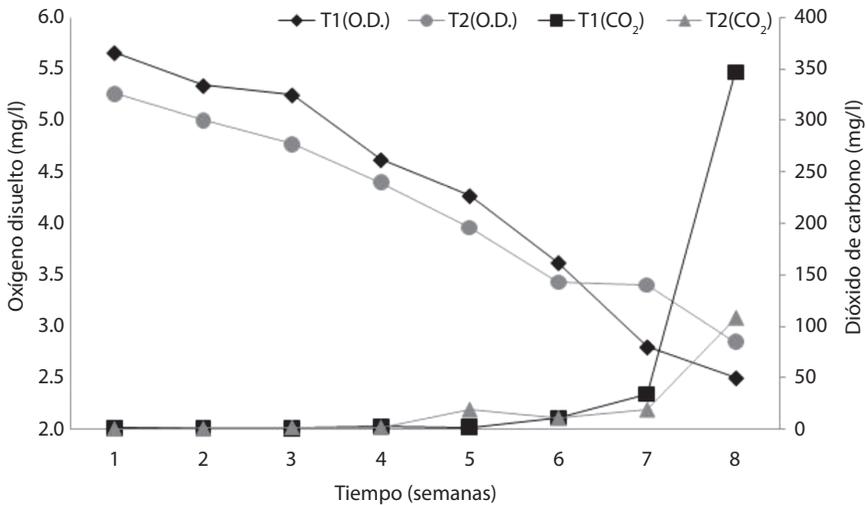


Fig. 4. Valores de oxígeno disuelto y dióxido de carbono por tratamiento.

Fig. 4. Values of dissolved oxygen and carbon dioxide per treatment.

En los compuestos nitrogenados  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ , las concentraciones mayores se presentaron en el T2, sin observarse significancia en las diferencias (t-student,  $p>0.05$ ). El comportamiento del amonio ionizado y no ionizado fue similar en ambos tratamientos. Los niveles se elevaron a partir de la quinta semana, y llegaron a los valores máximos en la semana final del experimento. Ocurrió lo contrario en los nitritos, los cuales descendieron en la quinta semana para el T2 y en la tercera semana en el T1.

Los nitratos se comportaron de forma similar en ambos tratamientos, con las concentraciones más bajas al terminar el periodo experimental. No existieron diferencias significativas (t-student,  $p>0.05$ ).

En los dos tratamientos el pH fue ligeramente básico el inicio del experimento y ácido al pasar las semanas, y terminaron con los valores más bajos en el tratamiento con menor proteína (Fig. 5), sin ser significativas las diferencias (t-student,  $p>0.05$ ). En ambos tratamientos se registraron niveles letales (inferiores a cinco) a partir de la sexta semana, por lo que se realizaron cambios del 20% del volumen de agua para estabilizar este parámetro. Los cambios se llevaron a cabo con el fin de evitar la muerte masiva de peces y determinar

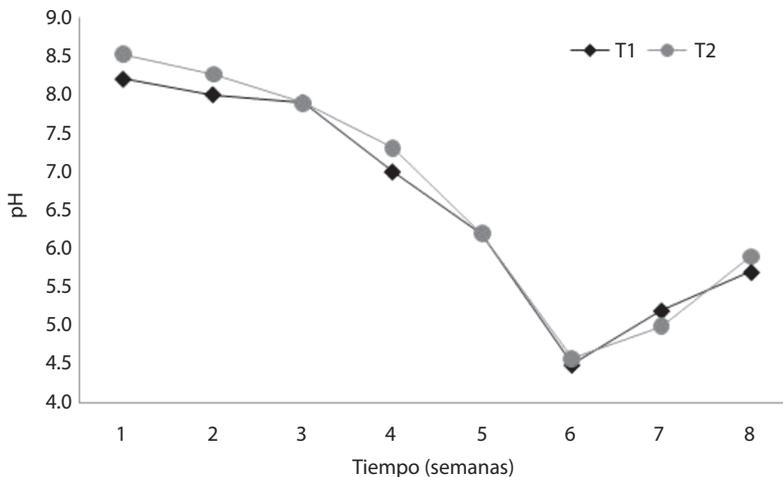
el tiempo en que los organismos alcanzaron su talla comercial como productos ornamentales, objetivo del trabajo.

La dureza por carbonatos (KH) presentó concentraciones entre 0 y 7°dH. Los valores más altos se registraron en el T1. Cabe destacar que al inicio de la cuarta y durante la quinta semana, los niveles descendieron hasta concluir el experimento; no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (t-student,  $p>0.05$ ).

La mayor concentración de fosfatos se registró en el T1. Ambos tratamientos aumentaron los niveles de este parámetro al paso de las semanas. No hubo diferencias significativas (t-student,  $p>0.05$ ).

**Capacidad de metabolizar el amonio-nitrógeno:** Los resultados arrojados por el modelo de Timmons & Ebeling, sobre la tasa de producción de amonio-nitrógeno con base en la ración alimenticia semanal, indican que la eficiencia para metabolizar el amonio en el T1 fluctuó entre 99.74-99.9% y del 99.8-100% en el T2 (Cuadro 3).

**Evaluación del sistema:** La cantidad de biomasa final promedio fue de  $22.03\pm 1.04$  y  $27.49\pm 1.56\text{kg}$ , para el T1 y T2, respectivamente.



**Fig. 5.** Valores de pH por tratamiento.  
**Fig. 5.** Values of pH per treatment.

CUADRO 3  
Metabolismo del amonio por tratamiento

TABLE 3  
Ammonium metabolism by treatment

Quincena	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
	NH <sub>3</sub> generado a partir del alimento*	% de NH <sub>3</sub> metabolizado por el sistema	NH <sub>3</sub> generado a partir del alimento*	% de NH <sub>3</sub> metabolizado por el sistema
1	1086.50	99.96	2149.85	99.88
2	2958.00	99.97	19022.02	100.00
3	4255.54	99.74	38123.56	99.99
4	7563.06	99.78	89758.49	99.98

\*=mg/L

En el tratamiento 1 se llegó casi al límite de la capacidad de los sistemas, mientras que en el tratamiento 2 se rebasó esa capacidad. El pH fue el parámetro que salió de los rangos aceptables, a partir de la sexta semana.

Los sistemas fueron capaces de metabolizar casi la totalidad de amonio-nitrógeno, producido a partir de las raciones dadas, a lo largo de todo el periodo experimental; sin embargo, los niveles de los parámetros limitantes de calidad de agua estuvieron en rangos aceptables solo durante tres de las cuatro quincenas totales. Por otro lado, la sobrevivencia en el T1 fue del 98.5% con una pérdida de 17±4 individuos, en la sexta semana. Mientras que no se presentó mortalidad en el T2.

## DISCUSIÓN

**Crecimiento:** La diferencia principal en los resultados obtenidos entre los tratamientos radica en los niveles de proteína. Se puede aseverar que los peces del tratamiento 2 (28% de proteína) respondieron con mayor crecimiento a la alimentación suministrada, también alcanzaron el mayor peso (22.96±1.98g). Estos resultados son congruentes al patrón descrito por Rebaza *et al.* (2002) en el Pacú *Piaractus brachypomus*, 21.94, 20.79 y 23.49g, con 30% de proteína, incluso los resultados obtenidos en este trabajo son mayores a los del citado autor. Por su parte, Ortiz *et al.* (2004),

reportan en *P. mesopotamicus* una ganancia en peso de entre 35.3 y 67.72% en sus tratamientos, muy por debajo de la ganancia reportada en el presente trabajo 89.73-96.87% (Cuadro 2).

En peces alimentados con 20-25, 30-35 y 40-45% de proteína Bachara *et al.* (1999), documentan en *P. mesopotamicus* una ganancia de 47.5-97.3%, valores mayores a los del T1(18% de proteína) de la presente investigación. Sin embargo, el T2 (28% de proteína) de este trabajo supera a los valores de ganancia documentados por Bachara *et al.* (1999), con excepción de su tratamiento con 40% de proteínas.

**Factor de condición múltiple:** El KM fue descendiendo al aumentar la talla y peso de los peces, lo que indica una utilización de la energía destinada para el crecimiento sin detectarse diferencias significativas entre los tratamientos (t-student, p>0.05). En ambos tratamientos se presenta una relación inversa entre el factor de condición y el crecimiento de los peces. Los peces donde se registró el menor crecimiento tuvieron el factor de condición mayor (T1). Dado que el KM describe el patrón en el uso-almacenamiento de energía proveniente del alimento, puede variar de acuerdo a la cantidad y calidad de éste (Kuri 1979, Medina 1979). En este caso, los peces que se alimentaron con mayor concentración de proteínas presentaron una mayor utilización de la energía.

**Calidad de agua:** No obstante que los niveles de oxígeno llegaron a estar por debajo de los rangos considerados ideales para la acuicultura (entre 3.0 y 5.0mg/L) (Rebaza *et al.* 2002, Timmons & Ebeling 2007), durante el estudio se mantuvieron sobre los 0.50mg/L, que son los mínimos aceptables para esta especie (Pullela 1997). Sin embargo, es probable que la baja concentración de este parámetro se relacione con la alta densidad de peces en el sistema, la concentración de oxígeno disminuyó al inicio del incremento del CO<sub>2</sub>, durante la quinta semana, a partir de la cual se recambió el agua para evitar el efecto dañino del pH (Wedemeyer 1996). La tasa de ingreso de oxígeno, debido al diseño del sistema se mantuvo estable durante todo el experimento, y se rebasó al aumentar el tamaño de los peces. Este fenómeno es común en sistemas de producción intensiva por lo que se recurre a la inyección de oxígeno líquido (Eshchar *et al.* 2006).

Las concentraciones de NH<sub>3</sub> se mantuvieron en los rangos aceptables durante el experimento debido a que el pH se mantuvo entre los niveles de neutro a ácido en la mayor parte de este trabajo. Lo anterior contribuyó a disminuir su letalidad, como lo mencionan Eshchar *et al.* (2006) y Timmons & Ebeling (2007). La concentración de este compuesto aumenta en pH alcalinos (Boyd & Tucker 1998); el NH<sub>3</sub> es 18 veces más tóxico a un pH de 8.2 que a 7.0 (Eshchar *et al.* 2006).

En este trabajo, los niveles de NO<sub>2</sub> superaron en las primeras semanas los niveles óptimos recomendados para esta especie que son menores de 8.0mg/L (Vinatea 2002). De igual manera, fueron superiores a los 5.6mg/L reportados como niveles letales por Ferreira da Costa *et al.* (2004) para *Colossoma macropomum* en exposiciones mayores a 70 horas. Pero en este estudio no se reportaron mortalidades durante los periodos de mayor concentración de este compuesto.

Los valores de pH llegaron a niveles ácidos por debajo de lo recomendado por Vinatea (2002), Losordo (1997) y Rebaza *et al.* (2002), a partir de la quinta semana de experimentación. Su comportamiento pudo deberse al

aumento del CO<sub>2</sub> en el sistema pues cuando las concentraciones de éste suben el pH se acidifica (Wurts & Durborow 1992, Wedemeyer 1996), dado que estos sistemas carecen de dispositivos para eliminar el CO<sub>2</sub> y el intercambio atmosférico fue insuficiente para su eliminación (Timmons & Ebeling 2007).

**Evaluación del desempeño del sistema acuícola de recirculación:** El crecimiento de los peces fue de tipo exponencial a lo largo de todo el experimento, registró ganancias en peso mayores a las documentadas en otros sistemas y estrategias de cultivo (Bachara *et al.* 1999, Ortiz *et al.* 1999, Rebaza *et al.* 2002). En esta investigación, el crecimiento de *P. mesopotamicus* en sistemas intensivos fue mayor que en cultivos semi-intensivos, y se considera satisfactorio el desempeño solo hasta la quinta semana del experimento.

En calidad de agua, el único parámetro que salió del rango aceptable fue el pH, desde la sexta semana, debido a que el CO<sub>2</sub> aumentó de manera drástica desde la quinta semana. Por otro lado, las concentraciones de NH<sub>3</sub> se mantuvieron dentro del rango no letal solamente por los bajos niveles de pH (Timmons & Ebeling 2007), los cuales ya presentaban niveles letales cuando el sistema albergaba de 14.512 a 18.630kg de biomasa, momento en el que el CO<sub>2</sub> aumentó y el O.D. disminuyó. Por otra parte, el valor de los NO<sub>2</sub> superó los rangos recomendados por los citados autores, sin producir un efecto plausible en los peces. Los sistemas fueron capaces de metabolizar casi la totalidad de amonio-nitrógeno producido a partir del alimento a lo largo de todo el periodo experimental; sin embargo, los niveles de los parámetros limitantes de calidad de agua estuvieron en rangos aceptables solo durante tres de las cuatro quincenas totales. La mortalidad de 17 individuos en el T1, en la sexta semana se debió al descenso de pH, con base en lo reportado por Wedemeyer (1996).

Ahora bien, se puede concluir que la estrategia empleada en el T2 (28% de proteína), fue la que produjo el mayor crecimiento en los peces, por lo tanto es la diferencia significativa

solo para el peso promedio final. Asimismo, los sistemas fueron capaces de alojar la densidad de peces propuesta solamente hasta la quinta semana de experimentación; y durante todo el experimento, los factores limitantes de calidad de agua se mantuvieron en niveles adecuados, salvo el pH que alcanzó niveles letales después de la sexta semana. Finalmente, los peces alcanzaron la talla comercial ornamental (10cm) en cuatro quincenas.

## AGRADECIMIENTOS

A Samuel Marañón Herrera por sus aportes al diseño y el análisis de datos. A Miguel A. Mosqueda, Jesús Sánchez y Liliana García Calva por sus sugerencias para la mejora del manuscrito. A Francisco Juárez Salas por su apoyo en la traducción del resumen.

## RESUMEN

Una alternativa que permite intensificar la producción acuícola, y reducir el impacto ambiental y los gastos de operación son los sistemas acuícolas de recirculación (SAR). Se evaluó el desempeño de SAR Aquatic Ecosystems® en el cultivo ornamental de *Piaractus mesopotamicus*, y se estimó el crecimiento y la calidad del agua, con dos alimentos comerciales de 18 (T1) y 28% (T2) de proteínas. Del crecimiento se midieron quincenalmente: la longitud patrón, altura máxima, peso y factor de condición múltiple (KM). De la calidad de agua se evaluó semanalmente, O.D., NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>, pH, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, KH y PO<sub>4</sub>. Con el modelo de Timmons-Ebeling se calculó la tasa de producción de NH<sub>3</sub>-N. Los resultados muestran diferencias significativas en el peso, donde T2 presentó un incremento de 7.14% más que T1, que mostró un mayor KM. La calidad del agua fue adecuada en los parámetros limitantes (OD=T1: 4.23±1.23; T2: 4.13±0.86; NH<sub>3</sub>=T1: 0.02±0.02; T2: 0.06±0.10), a excepción del pH (T1: 6.95±0.98; T2: 7.11±1.03) que presentó valores letales (<5) a partir de la quinta semana. La remoción de NH<sub>3</sub> fue de 99.4 a 100%. La biomasa final fue de T1: 22.03kg y T2: 27.49kg. Se concluye que los sistemas pudieron alojar la densidad propuesta solo hasta la quinta semana de experimentación. Los peces tardaron cuatro quincenas en llegar a talla comercial de ornato.

**Palabras clave:** sistemas acuícolas de recirculación, *Piaractus mesopotamicus*, calidad de agua, crecimiento, cultivo ornamental.

## REFERENCIAS

- Bachara, A.J., C.A. Longoni, C.Q. Flores, J.P. Roux, H.A. Domitrovic & F.D. Ruíz. 1999. Efecto de la proporción de proteína del alimento sobre el crecimiento y la composición bioquímica de la carne del Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en sistemas de cría semi-intensivos. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 1999. Universidad Nacional del Nordeste IV: 4/39-4/42. EUDENE, Corrientes, Argentina.
- Boyd, E.C. & C.S. Tucker. 1998. Aquaculture water quality management. Kluwer Academic, Boston, Massachusetts, Estados Unidos.
- Chhorn, E.L. & C.D. Webster. 2006. Feeding practices, p. 550-559. In E.L. Chhorn & C.D. Webster (eds.). Tilapia. Biology, culture and nutrition. The Howarth, Nueva York, Estados Unidos.
- Cochran, G.W. 1980. Técnicas de muestreo. Continental, México D.F., México.
- Ebeling, J.M., M.B. Timmons & J.J. Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. Aquaculture 257: 346-358.
- Eshchar, M., O. Lahav, N. Mozes, A. Peduel & B. Ron. 2006. Intensive fish culture at high ammonium and low pH. Aquaculture 255: 301-313.
- Ferreira da Costa, O.T., F.D. Dos Santos, L.P. Mendonça & M.N. Fernández. 2004. Susceptibility of the Amazon Fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. Aquaculture 232: 627-636.
- Hoaglin, D., F. Mosteller & J. Tukey. 1991. Fundamentals of exploratory analysis of variance. Wiley, Nueva York, Estados Unidos.
- Kuri, N.E. 1979. Determinación del Factor de Condición Múltiple (KM). Manuales técnicos de acuicultura. Depto. de Pesca, México D.F., México.
- Losordo, T.M. 1997. Tilapia culture in intensive recirculating systems, p. 185-208. In B.A. Costa-Pierce & J.E. Rokocy (eds.). Tilapia aquaculture in the Americas. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Los Angeles, Estados Unidos.
- Lovshin, L.L. 2010. FishBase WorldWideWeb electronic publication. FishBase Information and Research Group, Batonga, Malake, Filipinas. (Consultado: 15 marzo 2010, <http://www.fishbase.org>).

- Marañón, H.S., R. Domínguez & J. Sánchez. 1999. Bases metodológicas para la evaluación de poblaciones en el manejo de plagas. Serie Cuadernos. CBS, 39. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, México D.F., México.
- Medina, M. 1979. El factor de condición múltiple (KM) y su importancia en el manejo de las carpas de Israel (*Cyprinus carpio*); hembras en estado de madurez V (Nikolsky, 1963). Manuales técnicos de acuicultura. Depto. de Pesca. México D.F., México.
- Naylor, R.L., R.J. Goldburg, J.H. Primavera, N. Kautsky, M.C.M. Beveridge, J. Clary, C. Folke, J. Lubchenco, H. Money & M. Troell. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405: 1017-1024.
- Ortiz, J., J. Bechara & H. Domitrovik. 1999. Efecto de la proporción de proteína del alimento sobre parámetros de crecimiento del pacú (*Piaractus mesopotamicus*) a distintas temperaturas. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, UNNE, EUDENE, Corrientes, Argentina.
- Pinkuni, M. 2003. Piranhas. The guide to owning. T.F.H., Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Pullela, S. 1997. Aquaculture of Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) and a comparison of its quality: microbiological, sensory and proximate composition. Blacksburg, Virginia, Estados Unidos.
- Rebaza, C., E. Villasana, M. Rebaza & S. Deza. 2002. Influencia de tres densidades de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachypomus* "Paco" en segunda fase de alevinaje en estanques seminaturales. *Folia Amazónica* 13: 1-2.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. Department of the Environmental Fisheries and Marine Services, Ottawa Bulletin 191: 203-204.
- Schleser, D.M. 1997. Piranhas. Barron's, Nueva York, Estados Unidos.
- Timmons, B.M. & J.M. Ebeling. 2007. Recirculating aquaculture. NRAC, Nueva York, Estados Unidos.
- Vinatea, A.L. 2002. Principios químicos de calidad del agua en acuicultura. Una revisión para peces y camarones. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México D.F., México.
- Wurts, W.A. & R.M. Durborow. 1992. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 464, Kentucky State University, Kentucky, Estados Unidos.
- Wedemeyer, A.G. 1996. Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, Nueva York, Estados Unidos.

