



Estrategias de alimentación para el cultivo de larvas de catán (*Atractosteus spatula*)

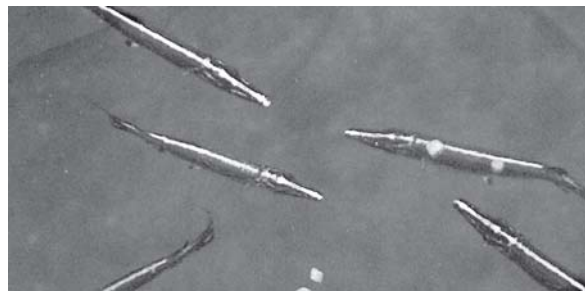
ROBERTO MENDOZA*, CARLOS AGUILERA*



a utilización de dietas artificiales en el cultivo de larvas de peces constituye una alternativa primordial ante el uso prolongado del alimento natural, ya que éste resulta impráctico y costoso. Sin embargo, a pesar de más de dos décadas de investigación en la formulación de microdietas, se han obtenido éxitos limitados, debido principalmente a problemas en la ingestión y digestión de las dietas.¹ Lo anterior se ha atribuido principalmente al funcionamiento incompleto del sistema digestivo en las larvas, observando una correlación entre el funcionamiento del estómago y el incremento de la actividad de las enzimas digestivas con la habilidad para utilizar dietas artificiales, por lo cual se considera que el tiempo más apropiado para remplazar el alimento vivo debe concordar con la maduración del sistema digestivo.^{2,4}

Esto ha provocado que en muchas especies más de 90% de las larvas generadas de la reproduc-

□ El presente artículo está basado en la investigación "Estrategias de alimentación para el cultivo de larvas de catán (*Atractosteus spatula*)", galardonada con el Premio de Investigación UANL 2008 en la categoría de Ciencias de la Tierra y Agropecuarias, otorgado en sesión solemne del Consejo Universitario, en septiembre de 2008.



Larvas de catán.

ción en cautiverio sean liberadas poco después de la eclosión, debido a las dificultades para suministrar alimento vivo en las cantidades requeridas para continuar con el crecimiento en cultivo.⁵ Este problema ha sido particularmente fuerte al intentar el cultivo del catán (*Atractosteus spatula*), ya que es una de las especies de agua dulce con mayor velocidad de crecimiento, así como al marcado hábito ictiófago, el cual se presenta desde la etapa larvaria en los lepisosteidos.⁶ Lo anterior ha evitado las posibilidades de llevar el cultivo del catán más allá del séptimo día después de eclosión (DDE), a pesar de una producción continua de larvas desde 1982, cuando inició la reproducción en cautiverio de esta especie en el Centro Acuícola Tancol (Sagarpa).

Ante esta situación, en 1998 se inició una se-

* Grupo Ecofisiología, Fac. de Ciencias Biológicas, UANL.

rie de estudios encaminados a resolver los problemas técnicos para realizar el cultivo del catán. Y uno de los objetivos iniciales fue la caracterización de los principales aspectos del desarrollo larvario de esta especie. En este contexto, los resultados más importantes obtenidos a la fecha muestran que las larvas de catán presentan un desarrollo muy rápido, caracterizado principalmente por un tracto digestivo completamente diferenciado cuando inicia la alimentación exógena (5 DDE), con actividad de tipo tripsina, quimotripsina y aminopeptidasa presente desde 3 DDE, mientras que la actividad de tipo pepsina se detecta desde el 5 DDE. Al mismo tiempo, la metamorfosis para obtener la forma del adulto se caracteriza por el alargamiento del hocico y se completa a 15 DDE. A partir de este momento, el crecimiento se acelera alcanzando un tasa de 5.6 mm/día.^{7,8} De esta forma se estableció que las larvas de catán pueden utilizar dietas artificiales, teniendo como requisito la flotabilidad de las partículas para ser consumidas. El objetivo de este trabajo ha sido realizar bioensayos que ayuden a definir una estrategia de alimentación diseñada en base a las características particulares del catán.

Métodos

Condiciones experimentales

La reproducción en cautiverio de catán se realizó en el Centro Acuícola Tancol, en Tamaulipas, de acuerdo a la metodología anteriormente descrita.^{7,8} Larvas de 1 DDE se transportaron en bolsas de plástico con oxígeno al laboratorio del Grupo Ecofisiología en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Las larvas se aclimataron en tanques de 1700 L hasta el 4 DDE. En ese momento 6000 larvas se distribuyeron al azar en doce tanques de fibra de vidrio de 500 L (230 x 70 x 30 cm). Los tanques se conectaron a un sistema de recirculación mediante un biofiltro de 500 L. El flujo de agua se impulsó mediante una bomba de 1/8 hp, igualando el recambio de las canaletas

mediante válvulas. En días alternos se reemplazó un 30% del volumen del sistema para mantener la calidad del agua. La temperatura del agua se mantuvo a 28°C y el oxígeno disuelto por encima de 6 ppm.

Dietas

Dos tipos de dietas comerciales de iniciación se compararon contra dos controles: 1) micropartículas semiflotantes producidas mediante migajas de extrusión (EC), obtenidas de Pedregal Silver Cup, S.A., se utilizaron las partículas en presentación de Iniciación, Alevín I y Alevín II con tamaños de 0.3, 0.6 y 1.18 mm, respectivamente. El análisis de garantía de estas dietas indica un contenido mínimo de 52% de proteína y 14% de lípidos. 2) Microesferas semiflotantes producidas mediante extrusión/maomerización (EM), obtenidas de Purina, S.A., se utilizaron las partículas en presentación de peces Maternidad con tres tamaños: 0.5, 0.75 y 1.2 mm. El análisis de garantía indica un contenido mínimo de 45% de proteína, y 11% de lípidos. 3) Control con alimento vivo consistente en nauplios de *Artemia salina* recién eclosionados (LF), de la variedad San Francisco Bay. 4) Un control se mantuvo en inanición, sin alimento exógeno (S).

Flotabilidad de las dietas

La tasa de sedimentación de las dietas EC y EM se evaluó mediante la cuantificación de sólidos suspendidos sobre un periodo de tiempo.^{9,10} Las dietas se deshidrataron previamente en una estufa a 80°C, durante doce horas. Se utilizó un recipiente redondo de 30 cm de diámetro y 10 cm alto, con cinco litros de agua dulce a 28°C y provisto de aireación mediante un *air-lift* para simular la turbulencia presente en las canaletas de cultivo. Se colocaron 2.5 g para cada dieta y después de cinco minutos la aireación fue suspendida para recuperar el alimento flotante en un papel filtro previamente secado y pesado. El papel filtro con

las partículas se deshidrató a 80°C durante 12 h para, posteriormente, determinar el peso del alimento recuperado por diferencia. La flotabilidad se expresó en porcentaje de alimento recuperado.

Diseño experimental

Para cada tratamiento (EC, EM, LF, S) se utilizaron tres canaletas con 500 larvas c/u; el suministro del alimento inició al 5 DDE. Para las dietas EC y EN del 0 al 4 DF se utilizaron las partículas más pequeñas (0.3 y 0.5 mm, respectivamente), las cuales fueron sustituidas del 10 al 14 DDE por las de tamaño intermedio (0.6 y 0.75 mm, respectivamente) y éstas, a su vez, del 15 al 19 DDE, por las partículas más grandes (1.18 y 1.25 mm, respectivamente). En LF, los nauplios de *Artemia* fueron proporcionados del 5 al 19 DDE, mientras que en S las larvas se mantuvieron en inanición durante el periodo experimental. Las dietas se suministraron *ad libitum* en cuatro raciones diarias. A 5, 10 y 14 DDE, se tomó una muestra de seis larvas por canaleta, mientras que al final del bioensayo 20 larvas por canaleta fueron muestreadas.

Las larvas fueron tomadas antes de la primera alimentación y posteriormente se anestesiaron con MS222. Para cada larva se registró la longitud total y la longitud del hocico con un vernier con 0.1 mm de exactitud; después de retirar el exceso de agua con papel filtro, se registró el peso fresco en una balanza analítica con 0.1 mg de exactitud. Posteriormente, la larva fue disectada en una placa a 4°C para separar la cabeza (a la altura de la opérculo branquial), el tracto digestivo y el cuerpo o carcás. Los tractos digestivos de cada tratamiento fueron liofilizados en lote, mientras que el carcás fue individualmente liofilizado para registrar el peso seco por larva.

Ácidos nucleicos

Todo el procedimiento se realizó a 4°C, de acuerdo a una modificación del método Schmidt-

Thannhauser Schneider (STS).¹¹ El carcás liofilizado de cada larva fue individualmente homogenizado en 2 ml de agua destilada con un Potter Wheaton glass. Para la determinación de ácidos nucleicos se utilizó 1 ml del homogenizado y el resto se almacenó a -20°C para la determinación de proteína soluble. Se determinó la concentración de DNA en base a una curva estándar con DNA de salmón, mientras que para la concentración de RNA se realizó una curva estándar con RNA de levadura tipo III.

Proteína soluble

La proteína soluble por larva se determinó mediante el método de Bradford (1976), con una curva estándar con albúmina de suero bovino (BSA).

Enzimas digestivas

Los tractos digestivos se homogenizaron en agua destilada en proporción 1:5 (w/v) con un Potter Wheaton glass a 4°C; posteriormente se centrifugaron a 12,000 rpm durante 15 minutos a la misma temperatura. El sobrenadante se almacenó en alícuotas de 0.5 ml a -20°C para luego utilizarse como extracto enzimático. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. La actividad proteolítica ácida se determinó con hemoglobina como sustrato.¹² La actividad proteolítica alcalina total se determinó con azocaseína como sustrato¹³ y la actividad de tipo tripsina se determinó con N-benzoil-arginina (BAPNA) como sustrato.¹⁴ La actividad de las enzimas digestivas se expresó como el incremento de absorbancia por minuto por larva (AE).

Digestibilidad de las dietas

Extractos enzimáticos de muestras de larvas de 10 DDE se utilizaron para realizar pruebas de digestibilidad *in vitro*.¹⁵ Los alimentos artificiales EM y EC se homogeneizaron con agua destilada, en una

proporción de 100 mg/ml y centrifugadas a 15000 rpm durante 20 minutos. Como sustratos de referencia se utilizaron hemoglobina y caseína a 1%, para la digestión ácida y alcalina, respectivamente. La digestión ácida se realizó mezclando 0.5 ml del sustrato correspondiente, 0.5 ml de buffer acetato de sodio-HCl 0.1M (pH 3.0) y 0.5 ml del extracto enzimático. La mezcla se incubó durante 30 minutos a 37°C y la reacción fue detenida con 0.5 ml de TCA frío (12%). El material no digerido se retiró por centrifugación a 10000 rpm por cinco minutos a 4°C. Para la digestión alcalina se utilizó un buffer tris-HCl 50mM (pH 8.5) en condiciones iguales a las descritas. El grado de digestión fue expresado como una función directa de la absorbancia a 280 nm.

Inicio del cultivo larvario

El diseño consistió en utilizar larvas con dos grados de desarrollo para iniciar el cultivo: a) larvas con vitelo de 2 DDE; b) larvas sin vitelo de 7 DDE. Las larvas de estas edades se colocaron en tanques de cultivo circulares de 500 L (1.70 X 70 m), utilizando tres tanques por tratamiento. La densidad de larvas inicial fue de 500 por tanque (1 larva/L). La alimentación consistió de una microdieta de 500 micras suministrada *ad libitum* en cuatro raciones diarias. Cada siete días se registró la sobrevivencia y se tomó una muestra de 20 larvas por tanque para registrar el peso (g) y la talla (cm) de cada larva. El bioensayo fue conducido durante cuatro semanas.

Determinación del sistema de cultivo

Las larvas se distribuyeron en dos dispositivos de cultivo diferente: a) canaletas de fibra de vidrio de 230 cm de largo, 70 cm de ancho y 30 cm de altura, con un volumen de agua de 500 l; b) tanques circulares de polietileno PVC de 170 cm de diámetro y 70 cm de altura con un volumen de agua de 1500 l. La densidad inicial fue de una larva/litro. Los sistemas se conectaron a un dis-

positivo de filtración y recirculación del agua para mantener su calidad. La temperatura del agua fue de 28°C, y se suministró oxígeno constante mediante un compresor de aire. A partir del quinto DDE se suministró el alimento dividido en cuatro raciones para que las larvas se alimentaran *ad libitum*.

Análisis de resultados

La sobrevivencia se evaluó a 10, 14 y 20 DDE. Se consideraron las variables morfológicas de longitud total, longitud del hocico, peso fresco, peso seco y tasa de crecimiento específico [$=100(\ln WW_{\text{final}} - \ln WW_{\text{inicial}})/\text{No. de días}$]. Con base en el análisis de larvas individuales muestreadas, se determinaron las tasas RNA/DNA, DNA/larva, RNA/larva, DNA/mg DW, y proteína/larva (mg) para cada tratamiento. Por otra parte, la actividad de las enzimas digestivas fue determinada por tres ensayos independientes de los extractos de cada tratamiento. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software* SPSS 9.0. Se realizaron pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y, posteriormente, se determinó la existencia de diferencias significativas mediante ANOVA *one-way*, y en el caso de existir diferencias se realizó una prueba de rango múltiple (Duncan) para la separación de medias.

Resultados

Flotabilidad de las dietas

Las dietas EC presentaron una flotabilidad de 64.8, 66.4 y 65.6% para las partículas de 0.3, 0.6 y 1.18 mm, respectivamente. Mientras que las dietas EM presentaron una flotabilidad de 43.4, 49.0 y 46.7% para las partículas de 0.5, 0.75 y 1.25 mm, respectivamente.

Sobrevivencia

A 10 DDE, la sobrevivencia se mantuvo alta para

todos los tratamientos, siendo la menor de 90% para las larvas en inanición (S). A los 14 DDE, la sobrevivencia continuó por encima de 90% para EC, EM y LF, sin diferencias significativas entre estos tratamientos. Sin embargo, en S se presentó una fuerte mortalidad debido a la inanición, sin presentar sobrevivencia después de 14 DDE. De 14 a 20 DDE, en los tratamientos EC, EM y LF se observó mortalidad por canibalismo, y se produjo, generalmente, la muerte tanto de la presa como del depredador debido a la imposibilidad de éste para ingerir todo el cuerpo de la presa. De esta forma, la sobrevivencia a 20 DDE fue cercana a 60% para los tres tratamientos sin diferencias

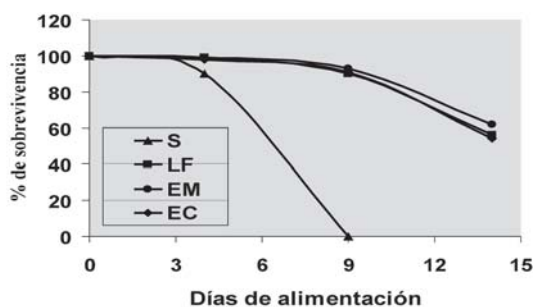


Fig. 1. Sobrevivencia (%) de larvas con diferentes dietas.

significativas entre éstos (figura 1).

Variables morfométricas

Las variables TL, SL, WW, DW y SGR presentaron el mismo comportamiento para cada muestreo (tabla I). A 10 DDE, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, alcanzando un mejor desempeño las larvas en EM y LF (sin diferencias significativas), seguidas de las larvas en EC y, finalmente, las larvas en S. A 14 DDE, las diferencias fueron más marcadas, siendo éstas significativas entre todos los tratamientos. En este caso, EM continuó con los valores más altos. Sin embargo, en este momento el desempeño de las larvas EC fue superior a las larvas LF, mientras que las larvas S continuaron con el menor desempeño. A 20 DDE, no existiendo sobrevivencia en C, se presentaron diferencias significativas entre

los tres tratamientos restantes, siendo de mayor a menor EM, EC y LF. Este comportamiento se observa más claramente en el peso fresco

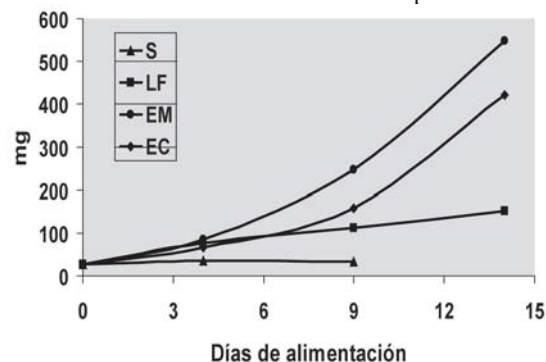


Fig. 2. Crecimiento en peso (mg) de larvas alimentadas con diferentes dietas.

Índices con ácidos nucleicos

Los índices a base de ácidos nucleicos presentaron un comportamiento similar al de las variables morfométricas (tabla II). La semejanza en el comportamiento entre estos dos tipos de variables se puede apreciar más claramente en los resultados de RNA/larva (figura 3). Sin embargo, las diferencias entre los tratamientos no fueron tan marcadas. De esta forma, a 10 DDE, el mejor desempeño encontrado para los tratamientos con alimento EM y LF se reflejó significativamente a través de las variables DNA/larva, RNA/larva y proteína/larva. A 14 DDE, la recuperación de las larvas con alimento EC y la reducción en el crecimiento de las larvas con LF se aprecia principalmente con estas mismas variables. Finalmente, a 20 DDE estas variables, además de la tasa RNA/DNA, no muestran diferencias significativas entre EM y EC, y sola-

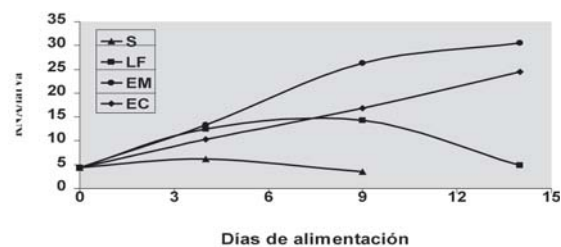


Fig. 3. RNA/larva con diferentes dietas.

Tabla I. Variables morfométricas de larvas de catán alimentadas con diferentes dietas.

DDE	Variable	Migajas de extrusión (EC)	Microesferas extruidas (EM)	Alimento vivo (LF)	Control (S)
4	Longitud total (mm)		15.42 ± 0.86		
	Longitud hocico (mm)		1.14 ± 0.12		
	Peso fresco (mg)		29.12 ± 2.20		
	Peso seco (mg)		1.18 ± 0.25		
10	Longitud total (mm)	22.39 ± 1.4 b	23.54 ± 2 a	23.66 ± 0.746 a	18.9 ± 1.5 c
	Longitud hocico (mm)	2.21 ± 0.13 b	3.34 ± 0.37 a	3.35 ± 0.37 a	1.39 ± 0.15 c
	Peso fresco (mg)	67.13 ± 19 b	84.99 ± 21.5 a	77.28 ± 7.63 a	35.95 ± 3.5 c
	Peso seco (mg)	3.49 ± 0.77 b	4.31 ± 1.26 a	4.275 ± 0.75 a	2.06 ± 0.81 c
	SGR (%)	26.26 ± 0.25 b	31.23 ± 7.50 a	31.6 ± 4.9 a	12.6 ± 7.04 c
14	Longitud total (mm)	49.8 ± 22 b	68.5 ± 9.7 a	32.9 ± 11.7 c	14.8 ± 5.3 d
	Longitud hocico (mm)	542 ± 224 ab	896 ± 224 a	408 ± 155 b	70.4 ± 24 c
	Peso fresco (mg)	12.23 ± 5.3 a	13.14 ± 3 a	13.3 ± 6.1 a	5.2 ± 2 b
	Peso seco (mg)	4.94 ± 1.8 b	4.93 ± 1.13 b	4.6 ± 1.7 b	9.7 ± 3 a
	SGR (%)	2.7 ± 1.1 b	4.05 ± 1.4 a	2.32 ± 0.5 b	0.13 ± 0.07 c
20	Longitud total (mm)	42.10 ± 5.33 b	46.14 ± 6.3 a	30.50 ± 3 c	
	Longitud hocico (mm)	6.44 ± 0.16 b	7.05 ± 0.18 a	4.33 ± 0.48 c	
	Peso fresco (mg)	420.6 ± 178 b	547.8 ± 229 a	127.51 ± 51 c	
	Peso seco (mg)	32.85 ± 12.21 b	46.23 ± 24.5 a	7.29 ± 3.5 c	
	SGR (%)	19.07 ± 7.06 a	18.84 ± 10 a	-1.02 ± 7 b	

mente el DNA/DW muestra una ventaja para EM.

Enzimas digestivas

A 10 DDE, la actividad proteolítica alcalina total y de tipo tripsina fue significativamente mayor para el tratamiento con alimento vivo (LF), seguido por los tratamientos con alimento artificial (EM y EC), mientras que la actividad proteolítica ácida total fue mayor para EM, sin embargo, sin diferencias significativas con LF y en segundo término el tratamiento EC. A 14 y 20 DDE, la actividad proteolítica alcalina total fue significativamente

superior para el alimento EC, seguido por EM y menor para LF. La actividad proteolítica ácida total fue similar a 14 y 20 DF, siendo de mayor a menor actividad los tratamientos EM, EC y LF, con diferencia significativa entre todos. En el caso de la actividad de tipo tripsina, a 10 DDE fue mayor para EM, pero sin diferencia significativa con LF, mientras que a 20 DDE sí se presentaron diferencias entre estos tratamientos, y EM presentó niveles similares a LF (figura 4). Para todas estas enzimas, y durante todo el bioensayo, las larvas en inanición (S) presentaron una actividad significativamente menor.

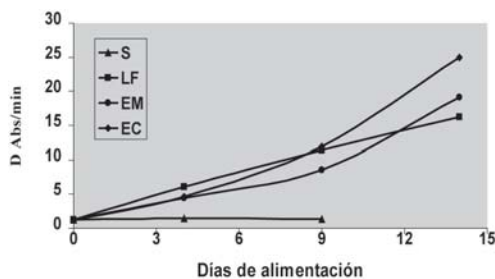


Fig. 4. Actividad tipo tripsina (Abs/min.) en tracto digestivo de larvas con diferentes dietas.

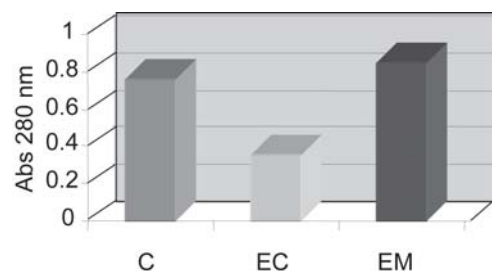


Fig. 5. Digestibilidad in vitro (Abs. 280 nm) de dietas utilizadas para alimentación de larvas de catán.

Tabla II. Variables con ácidos nucleicos de larvas de catán alimentadas con diferentes dietas.

DDE	Variable	Migajas de extrusión (EC)	Microesferas extruidas (EM)	Alimento vivo (LF)	Control (S)
5	DNA/larva (μg)		8.99 \pm 2.7		
	RNA/larva (μg)		67.73 \pm 10.9		
	RNA/DNA		7.8 \pm 1.46		
	DNA/mg DW		8.93 \pm 2		
	Proteína/larva (mg)		0.32 \pm 0.17		
10	DNA/larva (μg)	18.26 \pm 5.53 b	24.4 \pm 8.73 a	24.0 \pm 3.0 a	15.0 \pm 6.3 b
	RNA/larva (μg)	235 \pm 52 b	314 \pm 123 a	293 \pm 49 b	117 \pm 31 c
	RNA/DNA	13.2 \pm 3.6 a	13.0 \pm 1.97 a	12.5 \pm 3.2 a	8.47 \pm 2.6 b
	DNA/mg DW	5.0 \pm 1.3 b	5.4 \pm 0.8 b	5.4 \pm 0.9 b	8.0 \pm 2.5 a
	Proteína/larva (mg)	0.41 \pm 0.19 b	0.49 \pm 0.18 b	0.7 \pm 0.16 a	0.26 \pm 0.13 c
14	DNA/larva (μg)	31.54 \pm 2.9 b	34.15 \pm 3.64 a	28.22 \pm 1.37 c	19.73 \pm 0.83 d
	RNA/larva (μg)	4.47 \pm 0.5 b	5.22 \pm 0.63 a	4.00 \pm 0.45 c	1.95 \pm 0.11 d
	RNA/DNA	157 \pm 41.23 b	247 \pm 75 a	112.41 \pm 21 c	33.38 \pm 4.35 d
	DNA/mg DW	10.18 \pm 3.10 b	15.89 \pm 6.14 a	7.13 \pm 1.05 c	1.44 \pm 0.24 d
	Proteína/larva (mg)	20.54 \pm 5.92 b	24.83 \pm 7.17 a	10.02 \pm 3.12 c	-7.38 \pm 3 d
20	DNA/larva (μg)	106.9 \pm 32 a	104.8 \pm 30 a	31.1 \pm 7 b	
	RNA/larva (μg)	1052 \pm 542 a	1360 \pm 791 a	149 \pm 70 b	
	RNA/DNA	10.5 \pm 5.6 a	12.78 \pm 6.5 a	4.6 \pm 1 b	
	DNA/mg DW	3.13 \pm 0.5 b	2.7 \pm 0.6 c	4.8 \pm 2 a	
	Proteína/larva (mg)	7.7 \pm 2.6 a	7.42 \pm 2.17 a	2.03 \pm 1.14 b	

Digestibilidad de las dietas

Tanto la digestión ácida como la alcalina fueron significativamente mayores para la dieta EC en comparación con la dieta EM. Para el caso de la digestión alcalina, el valor obtenido para la dieta de microesferas (EM) fue superior al control de caseína (figura 5).

Inicio del cultivo

Los resultados muestran claramente que el cultivo debe ser iniciado con larvas que aún tienen reservas de vitelo (2 DDE). Inicialmente se pudo observar una sobrevivencia significativamente mayor para las larvas de vitelo (56%) comparadas con las larvas sin vitelo (7%). Por otra parte, tanto el crecimiento en peso como en longitud presentaron un mayor incremento para las larvas con vitelo (figura 6). Por lo anterior, consideramos que el grado de desarrollo de las larvas para iniciar su cultivo es determinante, tanto en la sobrevivencia como en el crecimiento de las crías de catán.

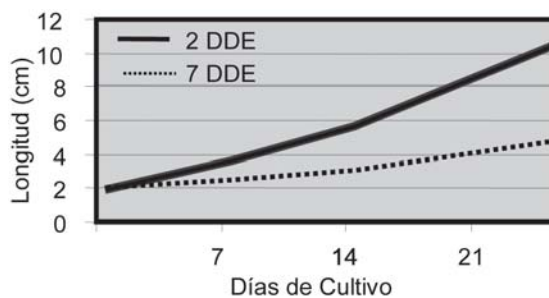


Fig. 6. Crecimiento en longitud (cm) de larvas acondicionadas al cultivo a diferente edad (DDE).

Sistema de cultivo

Los resultados de todas las variables mostraron claramente que el sistema de cultivo con tanques circulares resulta más apropiado para el cultivo de crías de catán. Estas diferencias se aprecian con mayor claridad en el peso fresco total, seguido de la longitud total. Al mismo tiempo, el mejor desempeño en las variables de longitud del hocico y altura preanal indican, respectivamente, que el desarrollo y la metamorfosis son más acelerados en los tanques circulares y que la condición nutricional de las larvas igualmente es mejor para este sistema (figura 7).

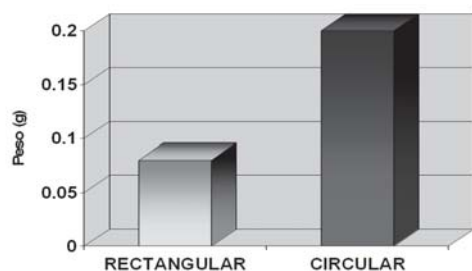


Fig. 7. Crecimiento en peso (g) de larvas acondicionadas al cultivo en diferentes tanques.

Discusión

Nuestros primeros ensayos con larvas de catán, entre 1997 y 1999, presentaban altas mortalidades cuando se utilizaban dietas artificiales. Por lo cual, la alimentación consistía únicamente de nauplios y adultos de *Artemia salina* y los bioensayos terminaban a los 15 DDE, antes de que el suministro de alimento afectara el crecimiento y la sobrevivencia, al alcanzar las larvas una talla máxima de 50 mm. No obstante, a finales de este periodo se definieron algunas de las características de las dietas, así como la posible estrategia para lograr la aceptación de las partículas de alimento artificial por las larvas de catán.¹⁶ Para el siguiente año, los primeros resultados positivos utilizando dietas artificiales fueron presentados.^{17,18} En este bioensayo, en los primeros cuatro días de alimentación, la mortalidad fue muy pequeña en todos los tratamientos, incluyendo aquellas larvas que no recibieron alimento exógeno (S). En primera instancia, lo anterior se debe a que las larvas de catán cuentan con reservas de vitelo hasta alrededor de 8 DDE.⁷ Esto les permitió, además de la sobrevivencia, que durante este periodo se presentaran las mayores tasas de crecimiento específico (26 a 31%) para los tratamientos que recibieron algún tipo de alimento, e inclusive las larvas en inanición presentaron una tasa de crecimiento aceptable (12.6%).

El hecho de que el canibalismo sólo se registrara en aquellos tratamientos en los que las larvas fueron alimentadas, podría explicarse en base al tamaño del hocico. Probablemente el caniba-

lismo fue producto de la inadecuada frecuencia de alimentación, más que de la calidad de las dietas. A 10 DDE, los tratamientos con mayor crecimiento fueron los que recibieron alimento vivo y microsferas (EM). Para el 20 DDE, se observó que las larvas con alimento artificial continuaron creciendo (EM y EC). Lo anterior fue igualmente reflejado por indicadores morfométricos y de ácidos nucleicos. Los resultados de esta investigación mostraron que los tratamientos a base de dietas artificiales tuvieron un mejor desempeño. Esto contrasta con la mayoría de los antecedentes, ya que, generalmente, al comparar alimento vivo contra artificial se ha reportado un mejor desempeño para las larvas alimentadas con presas vivas (particularmente *Artemia*).² A este respecto podemos señalar que las larvas que fueron alimentadas con presas vivas dejaron de mostrar un crecimiento sostenido entre el 9º y el 14º día de alimentación exógena.

Este menor crecimiento puede ser explicado por el tamaño de alimento, el cual se vuelve rápidamente inadecuado, considerando el acelerado desarrollo del hocico en las larvas de catán. Lo anterior implicaría que aunque las presas se encontraran en cantidad suficiente, las larvas invertirían una gran parte de su energía en la búsqueda y captura de las mismas, con una recompensa energética menor que las larvas alimentadas con dietas artificiales, considerando el tamaño creciente de las partículas alimenticias. A este respecto, la utilización de presas vivas en el cultivo de larvas de catán significa, en la práctica, producir masivamente y de manera simultánea presas vivas de diferente talla para realizar los cambios en el tiempo requerido (al menos cada cuatro días). Lo anterior implica un mayor número de instalaciones, más personal y operaciones y, por consiguiente, un mayor costo.

Entre las dietas artificiales probadas, la EM presentó mejores resultados, sobre todo a los 10 y 14 DDE. Una diferencia entre las dietas utilizadas es el proceso de producción, el cual pudo ocasionar diferencias en la disponibilidad y, por tanto, en el consumo. A este respecto, se ha señalado

que las migajas de extrusión (EC) producen partículas de forma irregular con diferencias en su composición química, lo que puede ocasionar un consumo selectivo por los peces (figura 8).¹⁹ Por otra parte, considerando que se plantea la flotabilidad de la partículas como una característica importante, se observó que a pesar de que la dieta EC presentó una mayor flotabilidad (45 a 70%), las partículas flotantes tienden a aglomerarse, perdiendo su forma y permanecen como manchas de alimento en la superficie. Mientras que la dieta EM, a pesar de presentar una flotabilidad menor a la señalada, las partículas no pierden su forma regular y pueden ser ingeridas individualmente mientras se encuentren flotando. Otra explicación podría darse por un exceso en el suministro de proteína en la dieta EC (52%), en el caso de que éste se encuentre por encima del requerimiento de las larvas de catán. Sin embargo, para confirmar lo anterior es necesario utilizar dietas elaboradas de la misma forma.

Se ha demostrado que es posible mantener larvas de peces empleando dietas artificiales, para lo

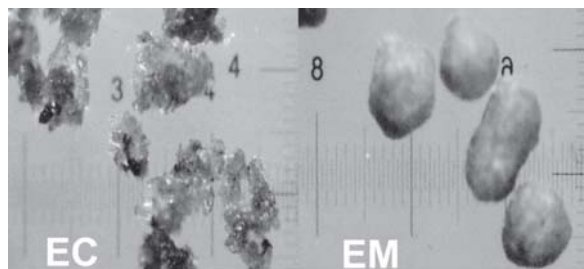


Fig. 8. Dietas utilizadas para alimentación de larvas de catán: migajas de extrusión (EC) y microesferas extruidas (EM).

cual se han utilizado, principalmente, tres estrategias para acondicionar larvas al consumo de dietas compuestas. Éstas son el acondicionamiento directo, el cual consiste en suministrar dietas compuestas desde el inicio de la alimentación, el acondicionamiento indirecto en el que se proporcionan dietas artificiales después de un periodo con alimento vivo y el acondicionamiento progresivo en el cual se incorporan cantidades graduadas de alimento vivo y artificial.² En este caso, la estrategia utilizada con larvas de catán fue el acondicio-

namiento directo. Sin embargo, dicha estrategia generalmente se realiza en el caso de larvas de gran talla y se ha utilizado en carpas y en larvas de salmónidos y esturiones.^{20,21}

En larvas de coreogonidos (*Coreogonus clupearformis*), el acondicionamiento directo produjo problemas de escoliosis, lordosis y comportamiento de nado errático.²² En larvas de sparidos (*Sparus aurata*), este método provocó una reducción en el crecimiento y la sobrevivencia.²³ Los problemas encontrados al utilizar esta estrategia de acondicionamiento han sido atribuidos a una baja calidad de huevos y larvas, a deficiencias nutricionales de la dieta, una baja afinidad de las enzimas proteolíticas hacia los sustratos artificiales ofrecidos en las dietas formuladas y a una baja tasa de ingestión de las partículas.^{3,21,22,24}

La aceptación de dietas flotantes por larvas de catán es apoyada por el comportamiento alimenticio de los lepisosteidos, el cual consiste en permanecer inmóviles en la superficie del agua hasta que la presa se encuentra a su alcance y con un movimiento lateral de la cabeza atraparla súbitamente.²⁵ Igualmente, la adición de sustancias con características atractantes ayuda a la aceptación de la partícula, ya que hemos observado que una vez que la larva se encuentra cerca del alimento, ésta puede permanecer cierto tiempo junto a éste, e inclusive tener contacto con el hocico antes de que lo ingiera, lo que indica que probablemente realiza un reconocimiento químico del alimento. Igualmente, lo anterior es apoyado por las observaciones de campo que indican una mayor actividad alimenticia durante la noche, lo cual limita la utilización de la vista, particularmente en aguas turbias de las ciénegas donde se desarrollan.²⁶

Resumen

En el presente estudio se evaluó el desempeño en crecimiento y sobrevivencia de larvas de catán alimentadas con diferentes dietas (nauplios de *Artemia*, dos dietas artificiales con diferente contenido de proteína y flotabilidad y un control en inanición) du-

rante su primera alimentación (5 días después de la eclosión- 5DDE). Todas las larvas en inanición (C) murieron a los 10DDE, mientras que la sobrevivencia fue cercana a 60% para el resto de los tratamientos hasta el final del periodo experimental. Los tratamientos a base de dietas artificiales mostraron un mejor desempeño comparado al del alimento vivo de acuerdo a las variables morfológicas (longitud total, longitud del hocico, peso húmedo y peso seco). Estos resultados fueron confirmados por medio de índices basados en ácidos nucleicos y en la actividad enzimática digestiva. La importancia de la relación entre el tamaño de los dietas y la apertura bucal quedó de manifiesto en este estudio. Las diferencias registradas entre los tratamientos a base de dietas artificiales fueron atribuidas a su digestibilidad. Las larvas de catán son capaces de crecer y sobrevivir satisfactoriamente al suministrarles dietas artificiales desde el inicio de la alimentación, siempre y cuando tengan un tamaño, flotabilidad y calidad adecuados.

Palabras clave: Catán, Dietas artificiales, Ácidos nucleicos, Enzimas digestivas, Digestibilidad.

Abstract

Growth performance and survival of alligator gar (*Atractosteus spatula*) larvae fed with different diets (*Artemia* nauplii, two artificial diets with different protein content and floatability and a control under starvation) at first feeding (5 days after hatching - 5DAH) were studied. All larvae under starvation (C) died at 10DAH, while survival was near 60% for the rest of the treatments at the end of the experimental period. Morphological variables (total length, snout length, wet weight, and dry weight) showed a better performance of artificial diets compared to live food (LF). These results were confirmed by means of nucleic acid indexes and digestive enzymatic activity. The importance of the relationship between diet size and snout size was evidenced from these results. Differences between artificial diets were attributed to different digestibility values. Alligator gar larvae

are able to grow and survive satisfactorily when fed artificial diets since the start of exogenous feeding, provided that these have an adequate size, floatability, and quality.

Keywords: Alligator gar, Artificial diets, Nucleic acid, Digestibility, Digestive enzymatic activity.

Referencias

1. Watanabe T. and Kiron, V. (1994) Prospects in larval fish dietetics. *Aquaculture*, 124, 223-251.
2. Person-Le Rouyet J. (1990) Early weaning of fish larvae onto microdiets: constraints and perspectives. In: *Advances in tropical Aquaculture*, Aquacop-IFREMER, Actes de Colloque 9, pp. 625-642.
3. Dabrowski K. and Culver, D. (1991) The physiology of larval fish, digestive tract and formulation of starter diets. *Aquaculture Magazine* March/April: 49-61.
4. Moyano F.J., Díaz, M., Alarcón, F.J., and Sarasquete, M.C. (1996) Characterization of digestive enzyme activity during larval development of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Fish Physiol. Biochem.*, 15, 121-130.
5. Rosch R. and Appelbaum, S. (1985) Experiments on the suitability of dry food for larvae of *Coregonus lavaretus* L. *Aquaculture*, 48, 291- 302
6. Pearson W.D., Thomas, G.A. and Clark, A.L. (1979) Early piscivory and timing of the critical period in postlarval longnose gar at mile 571 of the Ohio River. *Transactions of the Kentucky Academy of Science* 40(3-4), 122-128.
7. Aguilera C., R. Mendoza, G. Rodríguez, G. Márquez. (2002) Morphological description of alligator gar and tropical gar larvae, with an emphasis on growth indicators. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 131, 899-909.
8. Mendoza R., C. Aguilera, G. Rodríguez, M. González & R. Castro. (2002) Morphophysiological studies on alligator gar (*Atractosteus spatula*) larval development as a basis for their

- culture and repopulation of their natural habitats. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 133-142.
9. Backhurst, J.R. and J.H. Harker (1988) The settling rates of larval feeds. *Aquaculture Engineering*, 7:363-366
 10. Baskerville-Bridges, B. and L.J. Kling (2000) Development and evaluation of microparticulate diets for early weaning of Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Aquaculture Nutrition* 6: 171-182.
 11. Ordonio, R. (1995) Survival mechanism of tropical marine fish larvae during changeover from endogenous feeding. PhD Dissertation, Laboratory of Ichthyology, Dep. Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries. Tokyo, 322p.
 12. Anson, M.L. (1938) The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *J. Gen. Physiol.*, 22:79-89.
 13. Galgani, F. and F. Nagayama (1986) Characteristic of digestive proteolysis of crabs *Portunus triberculatus*, *Portunus sanguinolentus* and *Charybdis japonica*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52(12): 2183-2188.
 14. Erlanger, F.E., N. Kokowsky and W. Cohen (1961) The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Archives of biochemistry and Biophysics*, 95:271-278.
 15. Alarcón, F.J.; F.J. Moyano, M. Díaz, C. Fernández-Díaz and M. Yúfera (1999) Optimization of the protein fraction of microcapsules used in feeding of marine fish larvae using in vitro digestibility techniques. *Aquaculture Nutrition*, 5: 107-113.
 16. Aguilera, C. (1999) Bases fisiológicas del desarrollo de larvas de catán (*Atractosteus spatula*) y perspectivas para su cultivo. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, U. A. N. L. Monterrey, N. L., pp.186.
 17. Mendoza, R., and C. Aguilera (2000) Morphophysiological studies on alligator gar *Atractosteus spatula* larval development as a basis of their weaning onto artificial diets. 24th Annual Larval Fish Conference. Alabama.
 18. Mendoza, R., Aguilera, C., Carreón, L., Montemayor, J., González, M. (2002) Early weaning of alligator gar *Atractosteus spatula* larvae. *Aquaculture 2002*, WAS. San Diego, California, Enero 27-30 2002. P. 214.
 19. Marr, C. (1999) Improving efficiency in starter feeds. *Aqua Feed*, 4, 18-20.
 20. Dabrowski, K., H. Dabrowska & C. Grudniewski (1978) A study of the feeding of common carp larvae with artificial food. *Aquaculture*, 13:257-264.
 21. Dabrowski, K., S.J. Kaushik & B. & B. Fauconneau (1985) Rearing of sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) larvae I. Feeding Trial. *Aquaculture*, 47:185-192.
 22. Zitzow, R.E. & J.L. Millard (1988) Survival and growth of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) larvae fed only formulated diets. *Aquaculture*, 69:105-113.
 23. Tandler, A. & S. Kolkovski (1991) Rates of ingestion and digestibility as limiting factors in the successful use of microdiets in *Sparus aurata* larval rearing. *European Aquaculture Society, Special Publication*, 15:169-171.
 24. Kolkovski, S., A. Tandler, G. W. Kissil & A. Gertler (1993) The effect of dietary exogenous digestive enzymes on ingestion, assimilation, growth and survival of gilthead seabream (*Sparus aurata*, Sparidae, Linnaeus) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12(3):203-209.
 25. Suttkus, R.D. (1963) Order Lepisosteii, in: *Fishes of the Western North Atlantic*. Mem. Sears Found. Mar. Res., 1(3):61-68.
 26. Netch, N.F. & A. Witt (1962) Contributions to life history of the longnose (*Lepisosteus osseus*) in Missouri. *Missouri Wildlife Research Unit:U.S. Fish and Service*, 251-262.

Recibido: 1 de septiembre de 2008

Aceptado: 12 de septiembre de 2008