
DESARROLLO LARVAL DE *PROCHILODUS MAGDALENAE* (STEINDACHNER, 1879) (PISCES: PROCHILODONTIDAE), RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

LARVAL DEVELOPMENT OF *PROCHILODUS MAGDALENAE* (STEINDACHNER, 1879)
(PISCES: PROCHILODONTIDAE), MAGDALENA RIVER, COLOMBIA

Mauricio Arias-Gallo^{1, 4}, Luz F. Jiménez-Segura^{2, 5}, María del P. Dorado³

Resumen

Se provee una descripción morfológica y morfométrica del desarrollo larval de *Prochilodus magdalenae*, del río Magdalena, Colombia. Los especímenes fueron obtenidos por desove inducido. Esta especie presenta huevos libres y muy hidratados. El período de incubación es corto y duró aproximadamente 14 h después de la fertilización a 24 °C. La larva no está bien desarrollada al momento de la eclosión, con período larval relativamente rápido y metamorfosis acentuada. El análisis de los datos morfométricos mostró que algunas de las partes corporales de *P. magdalenae* no crecen proporcionalmente.

Palabras clave: Colombia, desarrollo larval, potádromos, *Prochilodus magdalenae*, río Magdalena

Abstract

Morphological and morphometric descriptions of the larval development of *Prochilodus magdalenae*, from the Magdalena river, Colombia are provided. Specimens were obtained by induced spawning. This species produces very hydrated free eggs. The incubation period was short; it lasted 14 hours at 24 °C after fertilization. Larvae are slightly developed at hatching, with relatively rapid larval development and an accentuated metamorphosis. Analysis of the morphometric data showed that some parts of the body of *P. magdalenae* do not grow proportionally.

Key words: Colombia, larval development, Magdalena river, potamodromous, *Prochilodus magdalenae*

INTRODUCCIÓN

La especie *Prochilodus magdalenae* (Steindachner 1879), conocida con el nombre común de bocachico, es una especie migratoria o potádroma cuyo ciclo de vida está relacionado con los patrones hidrológicos de inundación y estiaje de la cuenca del río Magdalena (Dahl 1971). Abandona las ciénagas en aguas bajas

y remonta los ríos en busca de los tributarios laterales, en una migración masiva conocida como “la subienda”. Desova en el canal principal del río con el comienzo de las crecientes (Jiménez-Segura 2007) y luego, durante las crecientes máximas, retorna a las ciénagas junto con su prole en una nueva migración llamada “la bajanza” (Mojica et al. 2002). La postura de las hembras puede variar aproxi-

Recibido: mayo 2010; aceptado: noviembre 2010.

¹ Docente. Instituto de Biología. Grupo de Ictiología (GIUA). Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

² Grupo de Ictiología (GIUA). Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

³ Estación Piscícola de Repelón. Antioquia, Colombia.

Correos electrónicos: ⁴<mauroariasgallo@gmail.com>; ⁵<udea.giua@gmail.com>.

madamente entre 80.000 y 100.000 huevos, dependiendo de la talla (Dahl 1971). Sus desoves son totales, la fecundación es externa y no cuidan a la prole (Kamler 1992).

El estudio de los períodos iniciales del ciclo de vida es básico para la taxonomía y la ecología de una especie (Sanches et al. 1999). La identificación de eventos morfológicos y cronológicos permite la clasificación de las especies de acuerdo con caracteres reproductivos y ontogénicos (Sato 1999). Además, el monitoreo del ictioplancton permite entender la dinámica reproductiva de las especies ícticas (Alves y Moura 1992; Atencio-García et al. 1999), lo cual es una herramienta imprescindible para la pesquería y la acuicultura pues permite avanzar en nuevas técnicas de manejo acuícola en estadio de incubación, larvicultura y alevinaje (Luz et al. 2001) y en la protección de las áreas y períodos de reproducción (Jiménez-Segura 2007).

La gran similitud morfológica de las especies de peces (en especial las dulceacuícolas) durante su período larval hace del análisis morfométrico una herramienta invaluable que ayuda a resolver los obstáculos de su identificación, especialmente cuando se realiza el monitoreo a la reproducción de las especies en el medio natural (Sanches et al. 1999) donde hay más de una especie reproduciéndose en el mismo momento y lugar (Nakatani et al. 2001).

Aunque para la mayor parte de las especies de la familia Prochilontidae ya se ha realizado la descripción morfológica de los períodos iniciales del desarrollo (Nakatani et al. 2001), en este trabajo se analiza la morfología y morfometría de los períodos iniciales del ciclo de vida de *P. magdalenae*, aportando información relevante y de utilidad para la identificación de la larva de esta especie capturada en condiciones silvestres.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología. Los especímenes empleados para describir el desarrollo larval de *P. magdalenae* en este trabajo fueron obtenidos mediante el desove inducido de reproductores de la especie *P. magdalenae*, usando un protocolo de dos dosis de extracto pituitario de carpa (**EPC**) de acuerdo con Atencio-García (2003) bajo condiciones de laboratorio (Estación Piscícola de Repelón, Atlántico). Después de la fertilización se colectaron muestras en intervalos de cuatro horas a 24 °C durante doce días. Las muestras fueron fijadas en formoldehído al 4% y analizadas en el laboratorio de Ictiología de la Universidad de Antioquia (Medellín), Colombia.

Los huevos y embriones fueron medidos [diámetro total del huevo, diámetro del vitelo y espacio perivitelino (**EPv**)] usando un estereomicroscopio con reglilla micrométrica ajustada en el ocular y pesados con una balanza analítica de cuatro cifras significativas.

La duración del período embrionario fue determinada a partir de la fertilización del huevo en términos de horas posfertilización (**hpf**). La duración de los diferentes estadios del desarrollo del período larval fue determinada a partir de la eclosión en términos de horas posteclosión (**hpe**). Dichos estadios también fueron caracterizados morfológicamente de acuerdo al grado de flexión de la región terminal del notocordio y el desarrollo de las aletas siguiendo la terminología empleada anteriormente (Nakatani et al. 2001):

a) Vitelino larval: comprende desde la eclosión hasta el inicio de la alimentación exógena (boca abierta y ano abierto, ojo totalmente formado y pigmentado).

b) Preflexión: desde el inicio de la alimentación exógena y la flexión del notocordio, seguido de la formación de los elementos de soporte de la aleta caudal.

c) Flexión: desde la flexión del notocordio, seguido de la formación de los elementos de soporte de la aleta caudal hasta la flexión completa y la aparición del botón de la aleta pélvica y el comienzo de la segmentación de los radios de las aletas dorsal y anal.

d) Postflexión: desde la flexión completa del notocordio, la aparición del botón de la aleta pélvica y el comienzo de la segmentación de los radios de las aletas dorsal y anal, hasta la formación completa de los radios de la aleta pectoral, la absorción de la aleta primordial o embrionaria y la aparición de las escamas.

A cada larva le fueron registradas sus características merísticas [número de miómeros totales (**MT**), miómeros preanales (**MPr**), miómeros postanales (**MPos**) y patrón de pigmentación], morfométricas [longitud de la nariz (**LN**), longitud de la cabeza (**LC**), longitud preanal (**LP**), longitud estándar (**LE**), longitud total (**LT**), altura del cuerpo (**AC**), altura de la cabeza (**ACab**), diámetro del vitelo (**DV**) y diámetro del ojo (**DO**) y su peso total (**PT**)]. Para cada medida fue calculado su valor medio y su desviación estándar. A partir de estas medidas, fueron definidas algunas relaciones corporales: forma del cuerpo ($AC/LE * 100$), tamaño de la cabeza ($LC/LE * 100$), tamaño del ojo ($DO/LC * 100$), siguiendo a Leis et al. (1989).

La relación longitud-peso se expresó mediante el modelo lineal o no, el que mejor ajuste presentó. Posteriormente, se utilizó una prueba de comparación de líneas de regresión con los datos transformados ($\log x$) para verificar si existieron diferencias en esta relación entre las fases de desarrollo larval (Zar 2010). Además, para identificar el tipo de crecimiento, se determinó la tasa de crecimiento de algunas estructuras corporales en relación con la longitud (estándar y de la cabeza) según Peres-Neto (1995) y Sanches et al. (1999).

Para el desarrollo de los procedimientos numéricos y estadísticos se utilizaron los programas computacionales *Microsoft® Office Excel 2003*, *Statgraphics Plus® 4.0* y *Statistica 6.0*.

RESULTADOS

Huevos. Mostraron ser de forma esférica. Su diámetro estuvo entre 1,9 y 2,65 mm (media \pm desviación estándar: $2,23 \pm 0,17$ mm). El corion es liso y frágil. Se observó una región perivitelina translúcida cuya longitud estuvo entre 0,4 y 1,5 mm ($0,92 \pm 0,37$ mm). El diámetro del vitelo presentó una coloración amarillenta sin gotas de aceites visibles y su diámetro estuvo entre 1 y 2,60 mm ($1,77 \pm 0,59$ mm). A las 2 hpf se observó clivaje del huevo y aproximadamente a las 6 hpf, se observó el embrión inicial sobre el polo animal del huevo. El peso total del huevo estuvo entre 0,0005 y 0,0067g ($0,039 \pm 0,0015$ g) (tabla 1).

Eclosión. Se presentó aproximadamente a las 14 hpf, la larva vitelínica (recién eclosionada) midió en promedio 2,86 mm de LT y pesó 0,0052 g, se observó la aleta embrionaria, el rudimento de las vesículas ópticas y un esbozo de la cavidad ótica. La mandíbula y el intestino aún no se habían formado, el saco vitelino fue grande y no hubo pigmentación.

Desarrollo larval. Los valores promedio obtenidos de las variables morfométricas medidas en las diferentes fases del desarrollo larval se presentan en la tabla 1.

La fase larval (figura 1A) se presentó entre las 0 y 38 hpe, la larva presentó una LT promedio de $5,1 \pm 0,88$ mm. La LE estuvo entre 2,73 y 6 mm ($4,83 \pm 0,88$ mm) y el PT estuvo entre 0,0003 y 0,004 g ($0,0017 \pm 0,0007$ g). El ano se encontró localizado en la mitad del cuerpo, los miómeros fueron difícilmente visibles. Larva de cuerpo alargado (17,9%), cabeza pequeña (18,2%) y ojo moderado (27%).

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables morfométricas del desarrollo larval de *Prochilodus magdalenae* (# = número de individuos; ME = medidas en mm; LE = longitud estándar; LT = longitud total; LN = longitud nariz; LC = longitud cabeza; LP = longitud preanal; ACP = altura cuerpo total; ACB = altura cabeza; DO = diámetro ojo; DV = diámetro vitelo)

#	Fases							
	Larval vitelino		Preflexión		Flexión		Postflexión	
	126		48		12		48	
ME	X ± DE	Amplitud	X ± DE	Amplitud	X ± DE	Amplitud	X ± DE	Amplitud
LE	4,83 ± 0,88	2,73-6,00	6,06 ± 0,56	5,20-7,50	8,90 ± 0,43	8,00-9,50	10,25 ± 0,69	9,10-14,20
LT	5,14 ± 0,88	3,23-6,20	6,39 ± 0,57	5,60-7,90	9,25 ± 0,45	8,40-10,0	12,04 ± 0,96	1,80-3,60
LN	0,26 ± 0,05	0,12-0,35	0,33 ± 0,09	0,03-0,50	0,65 ± 0,06	0,50-0,75	0,89 ± 0,12	0,70-1,10
LC	0,92 ± 0,16	0,35-1,75	1,22 ± 0,24	1,00-1,98	2,35 ± 0,14	2,08-2,50	3,14 ± 0,28	6,00-8,80
LP	3,33 ± 0,53	1,38-4,00	4,06 ± 0,10	3,50-5,10	6,28 ± 0,32	5,60-6,70	7,63 ± 0,52	8,20-11,70
ACP	1,00 ± 0,11	0,85-2,05	1,08 ± 0,18	0,80-1,52	1,91 ± 0,15	1,62-2,20	2,92 ± 0,38	1,50-2,80
ACB	0,68 ± 0,20	0,28-0,95	0,95 ± 0,08	0,80-1,15	1,57 ± 0,15	1,32-1,88	2,20 ± 0,26	0,60-1,00
DO	0,28 ± 0,03	0,20-0,35	0,35 ± 0,06	0,22-0,50	0,60 ± 0,04	0,55-0,70	0,78 ± 0,09	0,60-1,00
DV	1,18 ± 0,22	0,80-2,60	0,40 ± 0,29	0,00-1,00	0	0	0	0

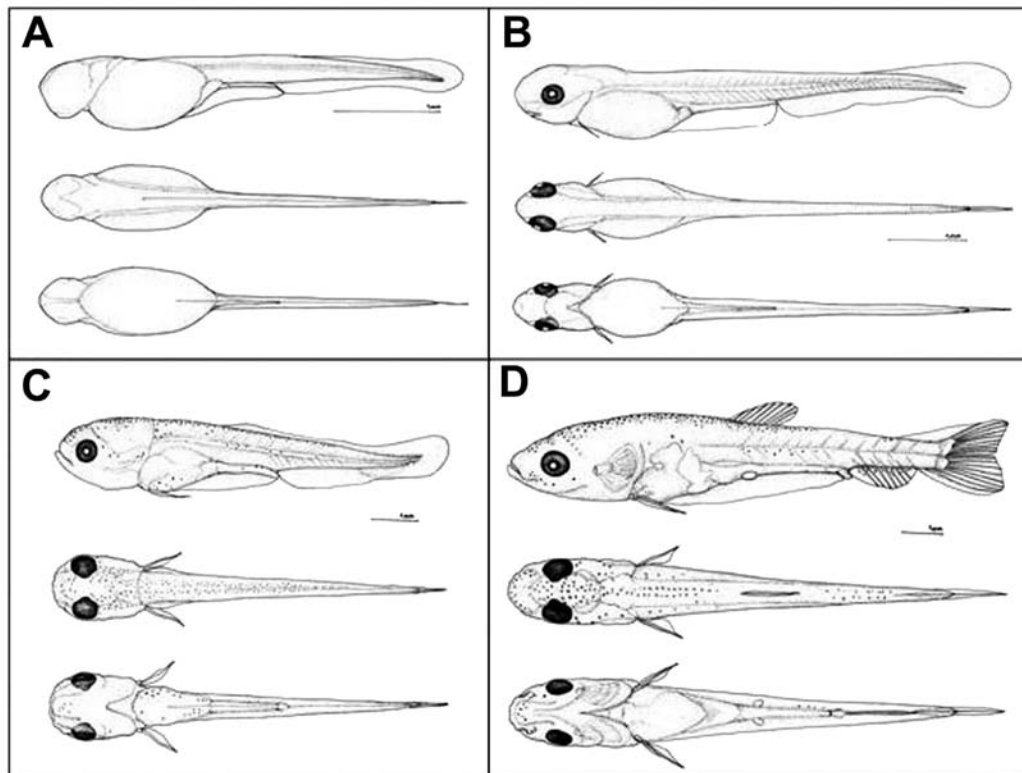


Figura 1. Fases de desarrollo larval de *Prochilodus magdalenae*: A. Vitelino larval; B. Preflexión; C. Flexión; D. Postflexión

Entre las 16 y 26 hpe se observó pigmentación de los ojos con opacamiento del cristalino, se localizaron en posición lateral y fueron visibles en posición dorsal, la boca se encontró en posición ínfera y la maxila se observó más larga que la mandíbula, LN varió de 0,12 a 0,35 mm ($0,26 \pm 0,0046$ mm). Entre las 30 y 38 hpe, se observó también el desarrollo de la vejiga natatoria, la cavidad ótica, las membranas branquiales descubiertas y el botón de las aletas pectorales.

La fase de preflexión (figura 1B) se presentó entre 38 y 106 hpe, la larva presentó LT promedio de $6,4 \pm 0,57$ mm. La LE estuvo entre 5,2 y 7,5 mm ($6,06 \pm 0,56$ mm) y PT estuvo entre 0,0009 y 0,0049 g ($0,002 \pm 0,001$ g). Entre las 38 y 54 hpe el intestino estuvo formado con apertura anal, el ano se mantuvo en la misma posición que en la fase anterior (MPr = 25-27, MPs = 14-16, MT = 39-42). Larva de cuerpo alargado (16,7%), cabeza pequeña (17,9%) y ojo moderado (30,2%).

Entre las 48 y 54 hpe la boca alcanza la posición terminal, la LN varió entre 0,28 y 0,5 mm ($0,33 \pm 0,09$ mm). Ocurrió reducción de vitelo cuyo diámetro estuvo entre 0 y 1 mm ($0,406 \pm 0,295$ mm) y fue absorbido totalmente entre las 54 y 106 hpe. Los escasos melanóforos en forma dendrítica y punctiforme se distribuyeron sobre el dorso del cuerpo, la cabeza y el tracto digestivo.

La fase de flexión (figura 1C) se presentó entre las 106 y 130 hpe, la máxima flexión del notocordio alcanzada cuando la larva presentó una LT promedio de $9,25 \pm 0,45$ mm. La LE varió desde 8 hasta 9,5 mm ($8,9 \pm 0,43$ mm) y el PT estuvo entre 0,0058 y 0,0016 g ($0,089 \pm 0,0026$ g). Se distingue la presencia de radios en la aleta caudal y no se observó vitelo. Durante esta fase la pigmentación se intensificó con melanóforos en el dorso del cuerpo, la cabeza, el opérculo y unos pocos a lo largo del tracto digestivo. Se observó una vejiga natatoria

grande. Larva de cuerpo moderado (21,9 %), cabeza moderada (26,1 %) y ojo pequeño (24,2 %).

La fase de postflexión (figura 1D) se presentó entre 130 y 250 hpe. Estuvo caracterizada inicialmente por la formación de los radios de la aleta caudal, anal y dorsal y la formación del botón de la aleta pélvica entre las 130 y 154 hpe. La segmentación de los radios de las aletas caudal, dorsal y anal comienza aproximadamente a las 154 hpe y se completa entre las 202 y 226 hpe. La aleta embrionaria desaparece totalmente o deja vestigios entre el ano y el vientre después de las 202 hpe. La larva presentó LT promedio de $12,04 \pm 0,96$ mm. La LE varió desde 8,2 hasta 11,7 mm ($10,25 \pm 0,688$ mm) y el PT estuvo entre 0,0073 y 0,0397 g ($0,0229 \pm 0,0072$ g). Larva de cuerpo moderado (29,6%), cabeza moderada (31,7%) y ojo moderado (25%).

A las 250 hpe la pigmentación de la larva se intensifica y los melanóforos se distribuyen en franjas transversales oscuras. La secuencia de aparición de los radios de las aletas es: caudal, dorsal, anal, pélvica y pectoral. El número total de radios de las aletas en postflexión fueron: dorsal de 10 a 11 y anal de 10 a 11. El número de radios de las aletas pectoral y pélvica no se logró determinar en esta serie.

Relación longitud-peso. El crecimiento en términos de la ganancia de peso y longitud de los períodos iniciales de desarrollo de *P. magdalanae* se ajustaron adecuadamente al modelo potencial ($R^2 = 0,654$) y la ecuación linealizada que describió esta relación fue:

$$\text{Log } PT = \text{Log } 0,00003 + 2,621 * \text{Log } LE \text{ (figura 2).}$$

El análisis de regresión múltiple para la comparación de pendientes para el crecimiento de la larva de *P. magdalanae* por fases, mostró que el crecimiento entre las fases es diferente ($F = 20,23 > F_{0,01(1); 3, 226} \approx 3,88$, $P < 0,01$) (figura 3, tabla 2).

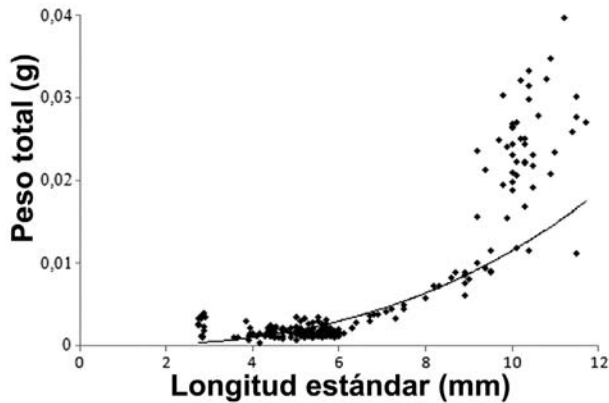


Figura 2. Relación entre el peso total y la longitud estándar del período larval de *Prochilodus magdalenae*

Tabla 2. Valores para los términos **a** y **b** de la ecuación $Log PT = Log a + b Log LE$ para el crecimiento de la larva de *Prochilodus magdalenae* por fases de desarrollo

Fase	a	b
Larval-vitelino	0,0025	-0,0002
Preflexión	-0,0079	0,0016
Flexión	-0,0260	0,0039
Postflexión	-0,0300	0,0052

Los valores para *b* obtenidos en el análisis de regresión (tabla 3, figura 4) muestra que la especie tiene una alometría positiva ($b > 1$) para la longitud de cabeza (1,4) y la altura del cuerpo (1,1) lo que indicó que esta estructura crece más rápidamente que la LE. La larva tiene una alometría negativa ($b < 1$) para el diámetro del ojo (0,82) y la altura de la cabeza (0,96), mostrando crecimiento mayor de la cabeza en relación con esas medidas. El crecimiento de la longitud preanal en relación con la LE indica que es cercanamente isométrico ($b = 1,01$). Igualmente sucede con la longitud de la nariz en relación con la longitud de la cabeza ($b = 1,01$).

DISCUSIÓN

Las especies de Prochilodontidae se caracterizan por presentar estrategia reproductiva tipo

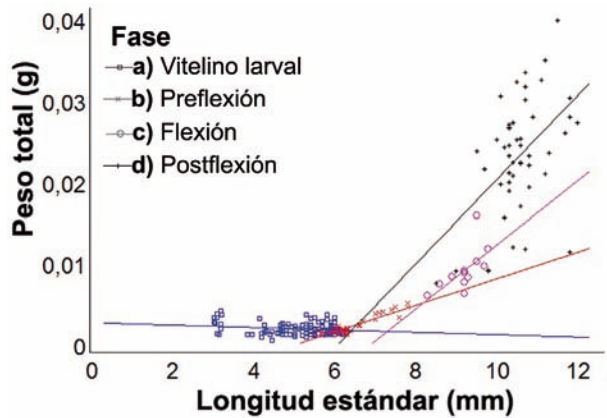


Figura 3. Relación entre longitud estándar y peso total en los diferentes fases de desarrollo de *Prochilodus magdalenae*

Tabla 3. Valores de los parámetros **a** (coeficiente lineal) y **b** (coeficiente alométrico) para las ecuaciones de la forma $Log (Y) = Log (a) + b Log (X)$ que describen la relación entre las variables morfométricas en relación con la longitud de cabeza y la longitud estándar para la larva de *Prochilodus magdalenae*

Relación morfométrica	n	a	b	r ²
Longitud de cabeza/ longitud estándar	235	0,1002	1,4246	0,8887
Altura del cuerpo/ longitud estándar	235	0,1797	1,0994	0,7409
Longitud preanal/ longitud estándar	235	1,6516	1,0135	0,9139
Diámetro de ojo/ longitud de cabeza	221	0,2984	0,8183	0,9227
Altura de cabeza/ longitud de cabeza	235	0,7312	0,9579	0,8454
Longitud nariz/ longitud de cabeza	221	0,2672	1,0135	0,8557

estacional (Winemiller 1989) que se identifican por ser migratorias (reofilicas), desovar en aguas abiertas, presentar alta fecundidad y fertilización externa, no tienen cuidado parental de las crías y poseen períodos cortos de incubación del embrión (Dahl 1971, Kamler 1992, Nakatani et al. 2001). Los huevos de *P. magdalenae* son

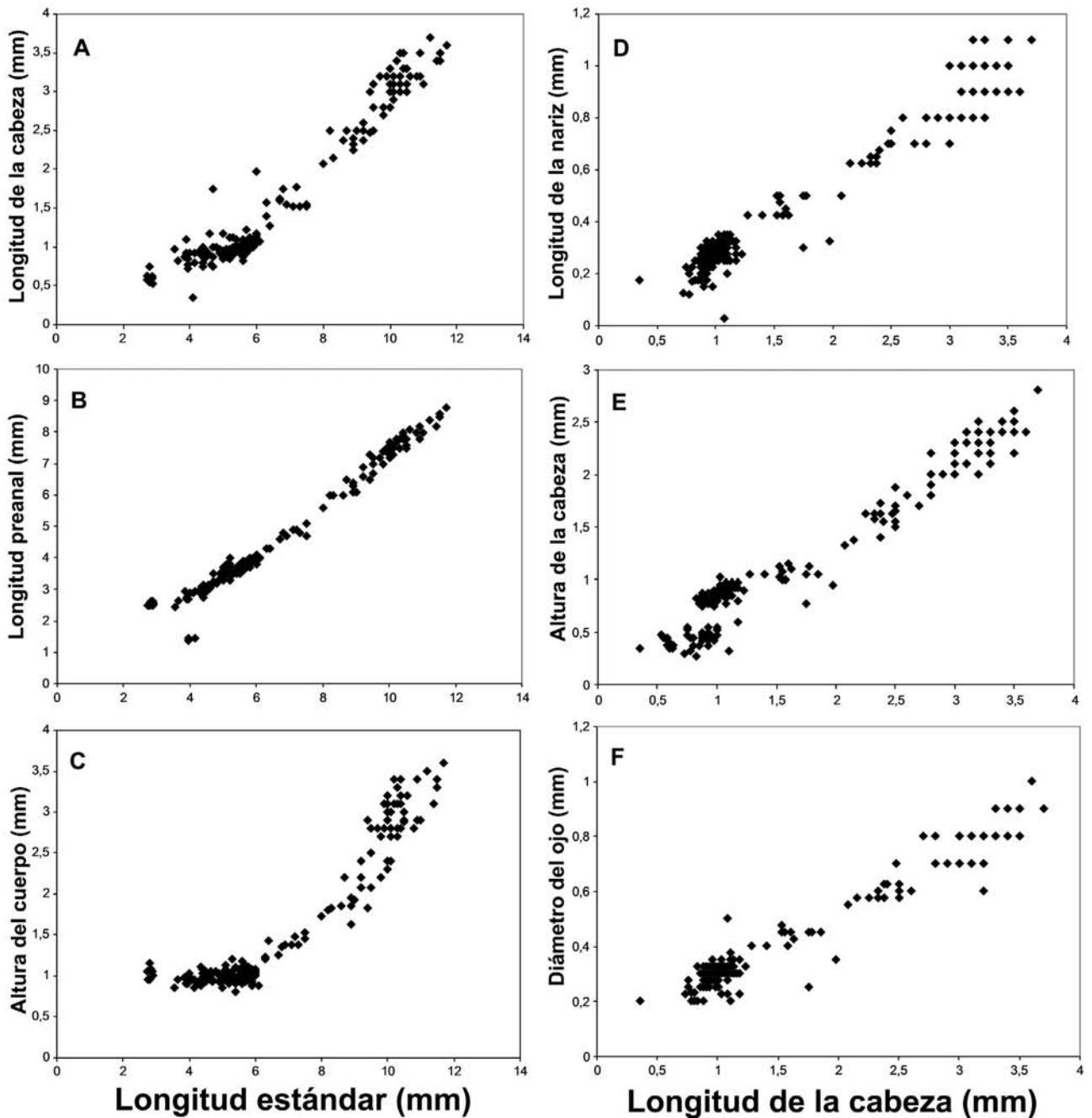


Figura 4. Relaciones corporales para el período larval de *Prochilodus magdalenae*: **A.** Longitud de la cabeza; **B.** Longitud preanal; **C.** Altura del cuerpo en relación con la longitud estándar; y **D.** Longitud de nariz; **E.** Altura de cabeza, **F.** Diámetro ojo en relación con la longitud de cabeza

boyantes bien hidratados y pequeños, cuyo diámetro fue menor (2,23 mm) a lo reportado para otras especies de este género: 3,62 mm para *P. brevis*, 3,92 mm para *P. lineatus*, 4,19 mm para *P. costatus*, 4,25 mm para *P. argenteus* (Nakatani

et al. 2001). El alto número de huevos pequeños en cada postura puede ser una estrategia de las especies que desovan en áreas abiertas para compensar la alta mortalidad que se presenta al no tener cuidado parental definido (Kamler

1992). En este sentido también se ha reportado para algunas especies de peces de Sudamérica que realizan grandes migraciones contra la corriente la producción de huevos boyantes como adaptación para su incubación de la prole durante la deriva desde el lugar de fertilización (Lucas y Baras 2001).

Debido a que *P. magdalenae* presenta huevos pequeños, la reserva energética en el embrión hace que la eclosión sea rápida y el individuo que emerge esté poco desarrollado, pues no tiene desarrollados la boca ni el intestino, y además carece de pigmentación en el cuerpo y en los ojos. El tiempo de incubación hasta la eclosión de esta especie es similar a otro buen número de especies de Characiformes como por ejemplo a *Salminus* sp., *Bryconamericus* sp., y *Brycon* sp. (Nakatani et al. 2001); *Leporinus* sp. (López y López 2005), excepto *Hoplias* sp. la cual tiene mayores períodos de incubación y puede ser debido a que tiene una estrategia reproductiva diferente como no efectuar migraciones y cuidar a la prole (Nakatani et al. 2001).

En términos generales la mayoría de peces que esparcen sus huevos en zonas abiertas y no tienen cuidado parental están caracterizadas por producir huevos pequeños, pobres en nutrientes y muy numerosos, con una diferenciación embrionaria precoz y largo período larval finalizado por una metamorfosis acentuada (Balon 1984). Las longitudes estándar a las cuales *P. magda-*

lenae alcanza las diferentes fases del desarrollo larval son similares a las que se reportan para otros miembros de la familia Prochilontidae (Nakatani et al. 2001) (tabla 4). En *P. magdalenae*, la larva está acompañada de grandes cambios morfológicos tales como la pigmentación de los ojos, formación de la boca (crecimiento de la mandíbula) y el intestino. Es posible que el tiempo que toma esta fase compense el corto tiempo de incubación, de manera que el individuo pueda completar la formación de las estructuras necesarias para la visión, captura y digestión del alimento, características morfológicas y fisiológicas que le permitirán explorar los hábitats en las planicies de inundación y evitar la depredación (Lucas y Baras 2001). La pigmentación de la larva parece seguir el patrón general de otras especies del género en las cuales es escasa en preflexión y se intensifica después de la fase de flexión, para que posteriormente en postflexión los melanóforos se distribuyen en franjas transversales oscuras a lo largo de los dos lados del cuerpo (Nakatani et al. 2001).

Se observan tres eventos importantes en el desarrollo ontogénico inicial de *P. magdalenae*: el agotamiento de las reservas energéticas endógenas (ocurriendo entre 38-48 hpe) expresado a partir del cambio en la relación talla-peso entre la fase de larva vitelínica y larva en preflexión, el llenado de la vejiga natatoria —vital para el comienzo de la natación horizontal en la fase de postflexión— y, la pigmentación del

Tabla 4. Comparación de longitudes estándar para las diferentes fases del desarrollo larval al interior de la familia Prochilontidae (* inicio de postflexión)

Fase	Longitud estándar (mm)				
	<i>P. magdalenae</i>	<i>P. argenteus</i>	<i>P. brevis</i>	<i>P. costatus</i>	<i>P. lineatus</i>
Larval vitelino	4,83 ± 0,88	5,20 ± 0,51	5,10 ± 0,48	5,42 ± 0,64	4,55 ± 0,62
Preflexión	6,06 ± 0,56	6,28 ± 0,14	5,93 ± 0,30	6,26 ± 0,12	5,99 ± 0,44
Flexión	8,90 ± 0,43	8,07 ± 0,95	9,49 ± 1,50	7,93 ± 0,94	8,55 ± 0,89
Postflexión	10,25 ± 0,69*	15,5 ± 2,93	14,40 ± 1,42	13,38 ± 2,14	14,73 ± 3,46

cuerpo durante el período juvenil, fundamental para el camuflaje. El coeficiente alométrico de la relación talla-peso está influenciado, entre otros factores, por la cantidad y la calidad de la comida ingerida (Teixeira de Mello et al. 2006). Teniendo en cuenta que los principales factores que afectan la alimentación exógena son la talla corporal y la disponibilidad de alimento, el incremento en la talla corporal asegura la ampliación del rango del tamaño de la presa, la cual a su vez esté fuertemente correlacionada con el tamaño de la boca (Blaxter 1988, Kamler 1992). Además del incremento en la talla corporal, durante las fases de vida temprana, la capacidad de nadar horizontalmente y el camuflaje no solo promueven el desarrollo de habilidades de forrajeo y la progresiva ampliación de la dieta sino que también reducen el riesgo de depredación que es crucial para la supervivencia del individuo (Cowan et al. 1997, Sogard 1997). El reemplazo de la aleta embrionaria por las aletas dorsal y anal, el desarrollo del pedúnculo caudal, y la transición entre modo de nado vertical a el modo de nado horizontal como consecuencia de la flexión del notocordio (106 hpe) son valiosas estrategias para reducir los altos costos de la locomoción de larvas de peces e incrementa la eficiencia del nado (Blaxter 1988, Osse 1990). Esos cambios se traducirían en mejoramiento de las capacidades natatorias de la larva (Webb y Weihs 1986) y el éxito en la alimentación (Blaxter 1988). También, los costos de transporte disminuyen rápidamente con el crecimiento, siendo cinco veces más grande en larvas que en fases posteriores del desarrollo como se ha visto por ejemplo en ciprinidos (Van Snik et al. 1997).

Las relaciones corporales presentaron grandes variaciones durante el desarrollo larval de *P. magdalenae*, en especial, a partir de la fase de preflexión. Medidas como la longitud de la cabeza y la altura del cuerpo en función de la LE, fueron las relaciones que presentaron grandes cambios. El crecimiento alométrico positivo de la cabeza y la altura del cuerpo puede estar relacionado

con la necesidad de desarrollar los sistemas nervioso (cerebro medio y posterior), sensorial (visión, olfato y línea lateral), respiratorio (arcos branquiales) y para la alimentación (mandíbula funcional y tracto digestivo), que le permitan a la larva reaccionar al estímulo lumínico, detectar presas zooplanctónicas y predadores potenciales en la columna de agua y comenzar a alimentarse exógenamente cuando las reservas del saco vitelínico sean absorbidas. Además, el desarrollo de los arcos y filamentos branquiales permitirían el cambio de respiración cutánea a respiración branquial, resultando en mejor abastecimiento de oxígeno e incremento en la actividad natatoria. También el desarrollo de estructuras para la alimentación (mandíbula funcional) en un corto período de tiempo es una característica común en larvas pelágicas (Herbing 2001, Pittman et al. 1990).

Mostramos en este trabajo que *P. magdalenae* presentó un período de incubación corto, la larva no estuvo bien desarrollada al momento de la eclosión, con un período larval relativamente rápido y una metamorfosis acentuada. Observamos que algunas partes corporales de *P. magdalenae* no crecen proporcionalmente, la longitud de la cabeza y la altura del cuerpo crecen más rápido que la longitud estándar. El diámetro del ojo y la altura de la cabeza crecen menos rápido que la longitud de la cabeza. También señalamos que la larva de *P. magdalenae* presentó el patrón de pigmentación y la secuencia de apareamiento de los radios de las aletas similarmente a otras especies del género.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a la Estación Piscícola de Repelón del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) por permitir coleccionar los huevos y larvas descritas en esta serie, al Laboratorio de Limnología Básica y Experimental (**LimnoBase**) del Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia por facilitar el uso de

algunos equipos para el análisis de muestras, y a Gloria Mora por la elaboración de las ilustraciones de las larvas.

REFERENCIAS

- Alves MSD, A Moura. 1992. Estádios de desenvolvimento embrionário de curimatã-pioa *Prochilodus affinis* (Reinhardt, 1874) (Pisces, Prochilodontidae). En: Varios, editores. Encontro anual de aquicultura de Minas Gerais, 10, Belo Horizonte (Brasil): Três Marias, CODEVASF. p. 61-71.
- Atencio-García VJ [Internet]. 2003. Congreso Internacional Virtual de Acuicultura (CIVA) 2003. Biología y Fisiología: Producción de alevinos de peces migratorios continentales en Colombia. Fecha de acceso: 17 de diciembre de 2010. Disponible en: <<http://www.revistaaquatic.com/civa2003/>>.
- Atencio-García VJ, Solano, JM, Quiroz H. 1999. Áreas de desove de los peces migratorios del río Sinú aguas abajo de la hidroeléctrica Urrá. *Proyección Investigativa*, 5: 11-23.
- Balon EK. 1984. Patterns in the evolution of reproductive styles in fishes. En: Potts GW, Wootton RJ, editores. *Fish reproduction: Strategies and tactics*. San Diego (CA): Academic Press. p. 35-55.
- Blaxter JHS. 1988. Pattern and variety in development. En: Hoar HS, Randall DJ, editores. *Fish Physiology*, vol. 11. San Diego (CA): Academic Press. p. 1-58.
- Cowan JH, Rose KA, Houde ED. 1997. Size-based foraging success and vulnerability to predation: selection of survivors in individual-based models of larval fish populations. En: Chambers RC, Trippel EA, editores. *Early life history and recruitment in fish populations*. Londres: Chapman y Hall. p. 632.
- Dahl G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Bogotá (Colombia): Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables, (Inderena), Talleres Litografía Arco. p. 391.
- Herbing IH v. 2001. Development of feeding structures in larval fish with different life histories: winter flounder and Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 59: 767-782.
- Jiménez-Segura L. 2007. Ictioplancton y períodos reproductivos de los peces del río Magdalena medio. [Tesis de doctorado] [Medellín, (Colombia)]: Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, p. 256.
- Kamler E. 1992. Early life history of fish: An energetics approach. England: Chapman y Hall. p. 267.
- Leis JM, Trnski T, Bruce B. 1989. The larvae of Indo-Pacific shorefishes. Honolulu: University of Hawaii Press in association with the Australian Museum. p. 371.
- López I, López A. 2005. Desarrollo embrionario de la liseta *Leporinus muyscorum* en condiciones de laboratorio. Montería (Colombia): Universidad de Córdoba. Reporte técnico. 15 p.
- Lucas MC, Baras E. 2001. Migration of freshwater fishes. Oxford: Blackwell Science. p. 440.
- Luz TK, Reynalte-Tataje DA, Ferreira AA, Zaniboni, E. 2001. Desenvolvimento embrionário e estágios larvais do mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 27, n. 1, p. 49-55.
- Mojica JI, Castellanos C, Usma S, Álvarez R, editores. 2002. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente.
- Nakatani K, Agostinho A, Baumgartner G, Bialecki A, Sanches P, Makrakis M, Pavanelli C. 2001. Ovos e larvas de peixes de água doce, desenvolvimento e manual de identificação. Maringá (Brasil): Eduem. p. 378.
- Osse JWM. 1990. Form changes in fish larvae in relation to changing demands of function. *Netherlands Journal of Zoology*, 40: 362-385.
- Peres-Neto PR. 1995. Introdução a análises morfométricas. *Oecologia Brasiliensis*, 2: 57-89.
- Pittman K, Skiftesvik, AB, Berg L. 1990. Morphological and behavioural development of halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.) larva. *Journal of Fish Biology*, 37: 455-472.
- Sanches PV, Nakatani K, Bialecki A. 1999. Morphological description of the developmental stages of *Parauchenipterus galeatus* (Linnaeus, 1766) (Siluriformes, Auchenipteridae) on the floodplain of the upper Paraná river. *Revista Brasileira de Biologia*, 59 (3): 429-438.
- Sato Y. 1999. Reproducción de peces en la cuenca del río San Francisco: Inducción y patrones. [Tesis de doctorado] [San Carlos, (Brasil)]: Centro de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Federal de San Carlos. p 179.
- Sogard SM. 1997. Size-selective mortality in the juvenile stage of teleost fishes: a review. *Bulletin of Marine Science*, 60: 1129-1157.
- Teixeira de Mello F, Iglesias C, Borthagaray AI, Mazzeo N, Vilches J, Larrea D, Ballabio R. 2006. Ontogenetic allometric coefficient changes: implications of diet shift and morphometric traits in *Hoplias malabaricus* (Bloch) (Characiforme, Erythrinidae). *Journal of Fish Biology*, 69: 1770-1778.
- Van Snik, GMJ, Van den Boogaart JGM, Osse JWM. 1997. Larval growth patterns in *Cyprinus carpio* and *Clarias gariepinus* with attention to finfold. *Journal of Fish Biology*, 50: 1339-1352.
- Webb PW, Weihs D. 1986. Functional morphology of early life history stages of fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115: 115-127.
- Winemiller KO. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, 81 (2): 225-241.
- Zar JH. 2010. Biostatistical analysis. Upper Saddle River (New Jersey): Prentice-Hall Incorporated. p. 944.