

Artículo original

## La ecología dinámica del hábito alimentario de alevines de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en condiciones controladas

### Dynamic ecology of bocachico (*Prochilodus magdalenae*) fingerlings' feeding habits under controlled conditions

Masashi Takatsuka

Exvoluntario Técnico de Acuicultura, Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA, Bogotá, Colombia

#### Resumen

Diversas investigaciones han aportado conocimientos biológicos y ecológicos sobre el bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Aunque se pensaba que el bocachico no aceptaría alimento concentrado debido a sus hábitos alimentarios naturales, se demostró que ingería alimento concentrado en forma de tortas húmedas. Por otro lado, la curva de crecimiento de las postlarvas puede considerarse un modelo de referencia para el manejo adaptado a cada etapa en un programa de producción, pues los resultados de las pruebas con el método de *bootstrap* han evidenciado una distribución normal, lo que indica que las condiciones de cría, entre ellas, la calidad y la cantidad de alimento, así como otros factores, han sido apropiadas. También se observó que las postlarvas cambiaban sus hábitos alimentarios, pasando del consumo de zooplancton al de organismos presentes en el bentos, y que cuando no había presas en el fondo del estanque de cría, migraban hacia la superficie y allí adoptaban el comportamiento de alimentación llamado “boqueo”; en ese momento las postlarvas tomaban la torta húmeda y se dirigían al fondo para consumirla. Este modelo de hábito alimentario puede considerarse similar al que ocurre en la naturaleza, cuando, después de alimentarse de zooplancton, los bocachicos se dirigen al fondo y se alimentan de flóculos de materia orgánica y fitoplancton. Este es un hallazgo importante para el desarrollo de técnicas de acuicultura sostenible de la especie. Por otra parte, durante el período de alimentación con zooplancton, las postlarvas toman selectivamente cladóceros, principalmente *Moina micrura*, debido a su tamaño y gran capacidad reproductiva; esta especie, además, sufre una descomposición física al pasar por la faringe y el tracto digestivo y su fluido protoplasmático se absorbe directamente en forma de nutrientes, lo que es una característica crucial de alimento vivo ideal para las postlarvas. Se encontró, igualmente, que cuando la cantidad y calidad del zooplancton, particularmente de *M. micrura*, son altas durante la etapa de postlarva, los individuos tienen un crecimiento saludable y rápido. Por último, el estudio del índice intestinal relativo y del contenido digestivo sugiere que el cambio en los hábitos alimentarios comienza cuando las postlarvas alcanzan una longitud de aproximadamente 18 mm y adquieren una capacidad digestiva similar a la de los peces de tallas entre 25 y 30 mm.

**Palabras clave:** *Prochilodus magdalenae*; Selectividad alimentaria; *Moina micrura*; Índice relativo intestinal.

#### Abstract

Research has provided biological and ecological knowledge about the bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Although this species was believed not to accept concentrated feed due to its natural feeding habits, studies have shown that it does in the form of moist cakes. Besides, the postlarvae growth curve can be considered a reference model for management techniques adapted to each stage in a production program. Indeed, bootstrap test results showed a normal distribution, indicating that the rearing conditions (e.g., quality and quantity of feed) and other factors were appropriate. Also, the postlarvae changed their feeding habits, transitioning from consuming zooplankton to organisms in the benthos. When there was no prey at the bottom of the rearing pond, the postlarvae migrated to the surface and adopted the feeding behavior of “gassing for air”; at this moment, they were provided

**Citación:** Takatsuka M. La ecología dinámica del hábito alimentario de alevines de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en condiciones controladas. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 48(187):325-340, abril-junio de 2024. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.2386>

**Editor:** Arturo Acero

**Correspondencia:**

Masashi Takatsuka;  
[estuche8426@gmail.com](mailto:estuche8426@gmail.com)

**Recibido:** 28 de noviembre de 2023

**Aceptado:** 13 de mayo de 2024

**Publicado en línea:** 6 de junio de 2024



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

with moist cakes, which they took and then moved to the bottom of the pond to consume them. This model is fairly similar to the bocachico natural way of feeding, where, after taking the zooplankton, they move towards the bottom and feed on organic matter floccules and phytoplankton. This is an important finding for the development of sustainable aquaculture techniques for the bocachico. Additionally, during the zooplankton feeding period, they selectively feed on cladocerans, mainly *Moina micrura*, due to their size and high reproductive capacity. *M. micrura* undergoes physical decomposition as it passes through the pharynx and digestive tract, and its protoplasmic fluid is directly absorbed as nutrients, a crucial characteristic of the ideal live food for the postlarvae. When the quantity and quality of zooplankton, particularly *M. micrura*, are high during the postlarval stage, the individuals grow healthily and rapidly. Finally, the relative intestinal index and the digestive tract content suggested that the change in feeding habits begins when the postlarvae reach a total length of approximately 18 mm and their digestive capacity resembles that of adult fish upon reaching a 25-30 mm length.

**Keywords:** *Prochilodus magdalenae*; *Moina micrura*; Intestinal relative index.

## Introducción

Según datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el panorama acuícola en Colombia refleja una distribución desigual en cuanto a las especies cultivadas (**Minagricultura**, 2021). En el 2020 la producción se concentró principalmente en la tilapia, la trucha arcoíris y las cachamas blancas y negras, con cerca de un 93 % del total, en tanto que el bocachico y otras especies representaron el 7 % restante. Esta preocupante situación ha llevado a que el bocachico sea clasificado como una especie vulnerable (VU) (A2c, d) (**Mojica et al.**, 2012). La disminución significativa en la captura de bocachico desde la década de 1990 y el peligro de su extinción, subrayan la urgencia de implementar medidas de conservación y manejo sostenible para esta especie emblemática de la ictiofauna colombiana. Como resultado de esta situación, se importan alrededor de 10,000 Tn de una especie similar, el sábalo (*Prochilodus lineatus*), desde Argentina y Uruguay (**Boletín Estadístico Pesquero**, 2018; **Puertonegocios**, 2019).

Se ha observado que el bocachico se alimenta de barro con materia orgánica acumulado en el fondo de las ciénagas, lo que ha llevado a recomendar su uso en policultivo con peces omnívoros, o en bajas densidades sin alimentación, en estanques de tierra (**Torres & Cohen**, 1993; **García**, 2011). En cuanto a las técnicas de reproducción, hay informes sobre la inducción al desove utilizando hormonas (**Cordero et al.**, 2003; **García et al.**, 2013) y sobre el uso de nauplios de artemia y rotíferos como alimentos vivos en la fase de postlarvas (**Atencio et al.**, 2003; **Prieto & Atencio**, 2008; **Quintero et al.**, 2009). En cuanto al contenido nutricional del alimento concentrado para peces, se han llevado a cabo estudios utilizando alimentos granulados que, cuando tienen un buen equilibrio de aminoácidos, favorecen un crecimiento adecuado (**González & Wills**, 2003; 2009; **González et al.**, 2005).

El bocachico es la especie piscícola más importante para las economías locales y los pescadores artesanales de las ciénagas, así como para la investigación biológica. Sin embargo, la información sobre las técnicas de acuicultura de la especie es limitada. En ese contexto, se hizo un primer experimento alimentando a alevines de bocachico con tortas húmedas para demostrar su capacidad de consumir alimentos concentrados. Se observó que los juveniles y adultos estaban muy alertas y eran sensibles a la mayoría de los movimientos y sonidos del entorno. Además, se determinó que los alimentos concentrados comerciales para peces disponibles en el mercado no eran adecuados para la estructura morfológica y la función bucal de los juveniles y adultos de bocachico. Así mismo, se descubrió que la depredación de larvas de libélula afectaba la supervivencia de los alevines y se observó una mejora significativa en la supervivencia al cubrir los estanques de cría con una malla de 1,27 cm de ojo. Además, se encontraron grandes cantidades de cladóceros en los contenidos del tracto digestivo en los lotes de producción de alevines con mayor número de individuos. En países asiáticos, durante mucho tiempo se han criado los cladóceros en gran densidad utilizando estiércol de pollo fermentado (gallinaza), y en los últimos años, se

ha revisado su utilidad y eficiencia económica como alimento vivo (Nakamoto *et al.*, 2007; Mehrajuddin & Altaff, 2011). En este contexto, se ha investigado el uso de *M. micrura* (Fuentes-Reinés *et al.*, 2019) como alimento vivo para en la producción de postlarvas de bocachico. En este sentido, se llevaron a cabo estudios biológicos y ecológicos orientadas a la cría de alevines de bocachico utilizando *M. micrura*.

## Materiales y métodos

### *Producción de larvas*

La producción de alevines comenzó el 26 de septiembre de 2019. Se indujo el desove de una hembra madura y dos machos mediante la aplicación de ovaprim (análogo de la hormona liberadora de gonadotropina del salmón) vía intramuscular. Este procedimiento se llevó a cabo en un estanque circular de cemento de 3 Tn con flujo de agua constante a una temperatura promedio de 25 °C. Se obtuvieron aproximadamente 30,000 larvas que, en dos días, se habían convertido en postlarvas, las cuales fueron trasladadas a un estanque de cemento de 250 Tn ubicado en el exterior del laboratorio.

### *Desarrollo de postlarvas*

La metodología de cría empleada en este estudio se basa en técnicas ampliamente conocidas en el campo de la piscicultura de agua dulce. Es bien sabido que en los estanques de barro utilizados para la cría de carpas (*Cyprinus carpio*) se observa una alta densidad de zooplancton. Sin embargo, en este estudio la metodología fue específica para la cría de postlarvas de bocachico. Dos días antes de la transferencia de las postlarvas al estanque de cría externo (250 Tn), se utilizó un sifón para tomar el agua de un estanque de barro donde se cultivaban carpas (*Cyprinus carpio*) y se había observado abundancia de zooplancton, especialmente de *M. micrura*. Varias especies de zooplancton se habían multiplicado mediante la fermentación con gallinaza. Luego, se añadió agua fresca al estanque de cría de las postlarvas, así como 10 kg de urea disuelta en agua y 1 kg de gallinaza fermentada para promover el crecimiento de las microalgas y, principalmente, de *M. micrura*. La temperatura del agua en el estanque de cría de las postlarvas varió entre 24 y 26 °C; se instaló una línea de aireación proveniente de una bomba industrial (Blower) para mantener el nivel de oxígeno adecuado.

Durante la etapa de postlarva se muestrearon diariamente más de 30 individuos y se midió la longitud total del cuerpo. En los últimos tres días se muestrearon aproximadamente 120 individuos. Se obtuvo una curva de crecimiento basada en los resultados y se generó una figura de distribución. Estos análisis permitieron conocer el crecimiento y el estado de desarrollo de las postlarvas, y el impacto de *M. micrura* como alimento vivo.

Además, para evaluar el estado de desarrollo de las postlarvas, se hizo una prueba de *bootstrap* utilizando los datos de longitud corporal medidos. Esta prueba estima la distribución calculando la estadística para múltiples remuestreos aleatorios de los datos originales (Yoshimura, 2014). Aquí se utilizó Microsoft Excel 2016 MSO para realizar 1.000 remuestreos por cada día de muestreo y estimar la media y el intervalo de confianza de 95 % de la longitud corporal. Para el remuestreo se utilizó la función “muestreo aleatorio de la población” de Excel, utilizando el método de percentiles para calcular los intervalos de confianza, lo que permitió la evaluación estadística de la tendencia de crecimiento de las postlarvas.

### *Experimento sobre la selectividad alimentaria de las postlarvas*

Con el fin de obtener un conocimiento ecológico más detallado de la interacción trófica entre las postlarvas y *M. micrura*, se observó el comportamiento de selectividad alimentaria de cinco postlarvas utilizando zooplancton concentrado, principalmente *M. micrura*, copépodos y rotíferos en frascos de un litro con filtrado del estanque exterior durante el primer día de cría. Las postlarvas se dejaron en el frasco durante una hora y luego se recolectaron. Posteriormente, mediante laparotomía se observó el contenido del tracto digestivo de *M. micrura*, de los copépodos y de los rotíferos. Se contaron las cantidades de cada uno y se midió la altura corporal de *M. micrura* separada de las postlarvas.

### ***Observación en el estanque de cría de 250 Tn***

Durante el período hasta la cosecha, se monitoreaba visualmente el estanque de cría a las 7:00, 11:00, 13:00 y 15:00 horas para observar el movimiento específico en la superficie del agua del estanque. Es necesario señalar que la metodología de observación empleada en este estudio se fundamenta en la experiencia del investigador en el campo de la acuicultura, y no en un protocolo específico citado en la literatura. Sin embargo, constituye una herramienta básica para la recopilación de datos en estudios de este tipo, debido a diferencias en las condiciones ambientales, especies cultivadas y recursos disponibles.

### ***Reproducción de *M. micrura****

Con el fin de comprender la tendencia de reproducción de *M. micrura* en el estanque de cría, se recolectó diariamente a las 7:00 am un litro de agua agitado por aireación, y se contabilizó el número de individuos de *M. micrura*, como parte de las tareas rutinarias de monitoreo en la gestión de la cría de postlarvas. A partir del número de individuos obtenido, se calculó la densidad y se evaluó de manera integral el estado de *M. micrura* en el estanque de cría, así como de la alimentación y el crecimiento de las postlarvas. Dado que no se ha establecido una técnica para controlar directamente la proliferación de *M. micrura*, estas observaciones permitieron determinar si se estaba manteniendo la densidad de alimento necesaria para un crecimiento saludable de las postlarvas.

### ***Índice relativo intestinal***

Para evaluar el desarrollo de la función digestiva, se calculó el índice relativo intestinal (IRI) (Nakagawa, 2002). Este índice se obtiene dividiendo la longitud del tracto digestivo por la longitud total del cuerpo. El IRI se midió en individuos en diferentes etapas de desarrollo, desde postlarvas hasta peces adultos. Para obtener las medidas necesarias, se diseccionaron postlarvas para extraer el tracto digestivo y colocarlo en un portaobjetos o placa de Petri. A medida que los peces crecen, el intestino se pliega, por lo que se intentó enderezarlo mediante una disección cuidadosa. Sin embargo, no siempre fue posible lograr una extensión completamente recta del intestino. Por esta razón, los valores del IRI calculados se consideraron una estimación aproximada de la relación entre la longitud del tracto digestivo y la del cuerpo.

## **Resultados**

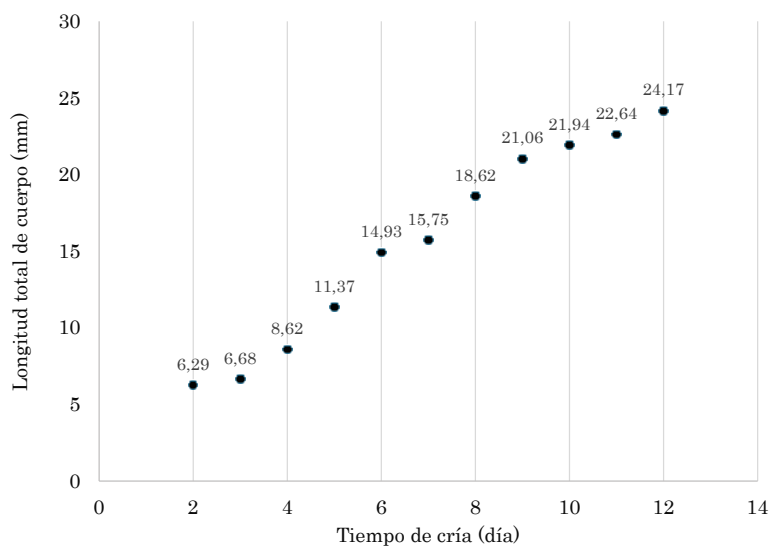
### ***Crecimiento y desarrollo de postlarvas***

Después del desove, la fecundación y la eclosión, se obtuvieron aproximadamente 30,000 larvas, las cuales se convirtieron en postlarvas con la apertura de la boca al cabo de dos días de la eclosión. Al tercer día se trasladaron al estanque de cemento de 250 Tn ubicado en el exterior del laboratorio, donde se criaron durante 12 días. Al final de este período de crianza, las postlarvas alcanzaron una longitud total media del cuerpo de 24,17mm y fueron cosechadas, con una tasa de supervivencia de aproximadamente 73 %. (**Figura 1 y tabla 1**).

En el momento de la cosecha, en el día 12 de cría, los valores reales de la longitud total del cuerpo no mostraron una distribución normal. Para explorar la verdadera tendencia de la población de postlarvas en el estanque de cría de 250 Tn, se hizo una prueba de *bootstrap* (Yoshimura, 2013). Se estimaron distribuciones basadas en los valores reales de los tres días anteriores, incluido el día de la cosecha. Todas estas distribuciones estimadas mostraron una distribución cercana a la normal (**Figura 2**).

### ***Selectividad alimentaria de postlarvas según el experimento***

Las postlarvas fueron observadas alimentándose selectivamente de Cladoócera, especialmente de *M. micrura*. Se preparó un frasco con un litro con zooplancton de muy alta densidad, filtrado del estanque de cría a través de un tamiz de 150  $\mu$ m. A pesar de la presencia de una gran densidad de copépodos y rotíferos en el frasco, las postlarvas se alimentaron selectivamente de 54 individuos de *M. micrura* y un crustáceo de la clase Ostracoda.



**Figura 1.** Crecimiento de las postlarvas de bocachico representado por la media de la longitud total

**Tabla 1.** Mediana de la longitud total (Q2) y cuartiles inferior (Q1) y superior (Q3) de las postlarvas de bocachico (*P. magdalenae*) durante el período de cría. Los cuartiles indican la dispersión del crecimiento y la amplitud de la distribución de los datos.

Día	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q1(mm)	6,20	6,50	8,36	11,00	14,30	15,20	17,60	20,00	20,80	21,00	22,60
Q2(mm)	6,30	6,63	8,64	11,45	14,93	15,70	18,65	21,70	22,40	23,00	24,50
Q3(mm)	6,40	6,90	8,90	12,00	15,60	16,50	19,60	22,50	23,50	24,60	26,40

El número de individuos de cada tipo de zooplancton encontrado en los tractos digestivos de las cinco postlarvas de bocachico fue el siguiente: postlarva 1: 11; postlarvas 2 y 3: 12 cada una; postlarva 4: 13, y postlarva 5: 6, en tanto que no se encontraron copépodos ni rotíferos, y solo se halló un ostrácodo.

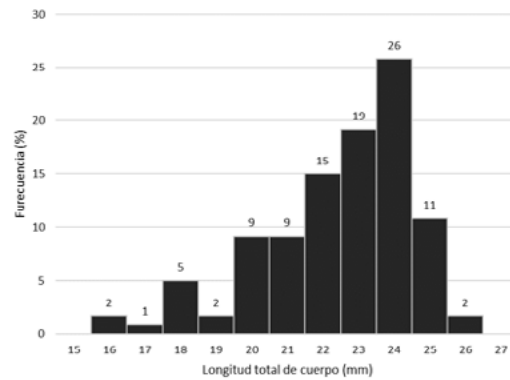
Se midió el tamaño de *M. micrura* ingerida por cinco postlarvas. La altura corporal de los cladóceros osciló entre 200 y 500  $\mu\text{m}$ . La mayoría de los individuos presentaron una altura corporal entre 300 y 400  $\mu\text{m}$ . Esto indica que, durante el segundo día de apertura bucal, las postlarvas se alimentaron selectivamente de especímenes de ese tamaño. Además, según los datos, la proporción entre el ancho y la altura corporal fue aproximadamente de 50 %, lo que sugiere que las postlarvas tuvieron una boca abierta de entre 100 y 250  $\mu\text{m}$  durante la depredación, lo cual coincide con las mediciones reales de las mandíbulas de las postlarvas (**Figura 3**).

#### **Nutrición a través de presas exógenas**

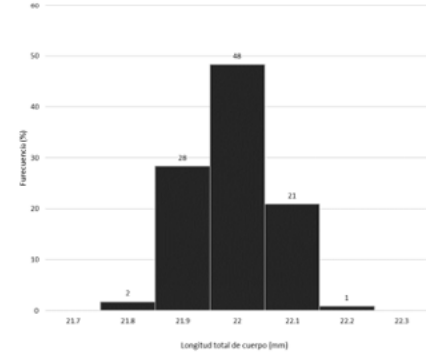
En el quinto día (**Tabla 2**) se observó que las postlarvas se alimentaron en gran cantidad de copépodos y rotíferos. Las fotografías tomadas de los contenidos dentro de los tractos digestivos mostraron presencia de zooplancton (**Figura 4**).

#### **Influencia de *M. micrura* en el cambio de hábitos alimentarios**

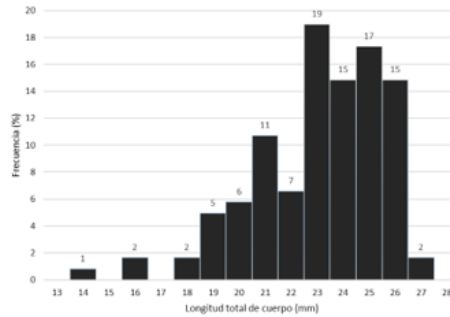
Como se ve en la **tabla 2**, estos resultados indican que la densidad de *M. micrura* y el contenido digestivo de las postlarvas varían a lo largo del tiempo de cría en el estanque. La presencia de *M. micrura* es alta al principio, pero posteriormente disminuye, mientras que otras presas como rotíferos, copépodos y organismos bentónicos se vuelven más importantes en la alimentación de las postlarvas.



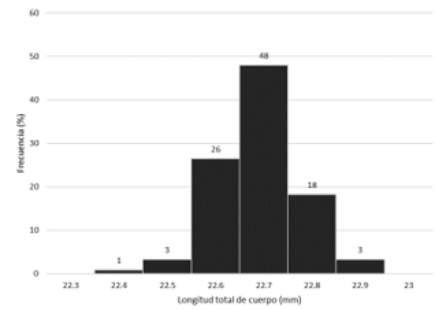
Día 10, n = 120  
 Media: 21,99 (IC95%: 21,63 - 22,35)  
 Mediana: 22,3 (IC95%: 21,95 - 22,55)  
 Valor mínimo: 15,7  
 Valor máximo: 25,1  
 Desviación estándar: 2,2



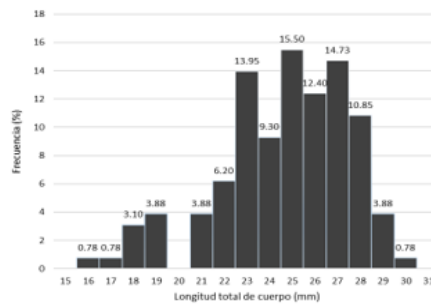
Día 10, n = 120  
 Iteraciones de Bootstrap = 1,000  
 Valor medio: 21,93908  
 Mediana: 21,93910  
 Valor mínimo: 21,8032  
 Valor máximo: 22,1211  
 Desviación estándar: 0,07672



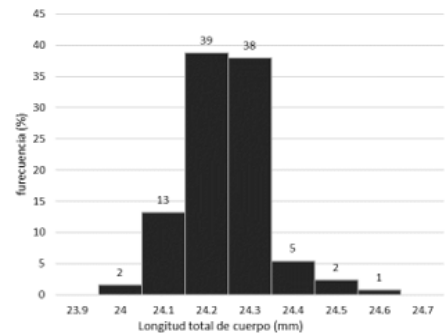
Día 11, n=121  
 Media: 22,82 (IC95%: 22,30 - 23,34)  
 Mediana: 23,40 (IC95%: 22,75 - 23,90)  
 Mínimo: 13,8  
 Valor máximo: 26,9  
 Desviación estándar: 2,27



Día 11, n=121  
 Iteraciones de Bootstrap=1,000  
 Valor medio: 22,64919  
 Mediana: 22,65478  
 Valor mínimo: 22,47311  
 Valor máximo: 22,80946  
 Desviación estándar: 0,07604



Día 12, n=129  
 Media: 24,78 (IC95%: 24,28 - 25,28)  
 Mediana: 25,80 (IC95%: 25,10 - 26,50)  
 Valor mínimo: 15,6  
 Valor máximo: 29,6  
 Desviación estándar: 2,44

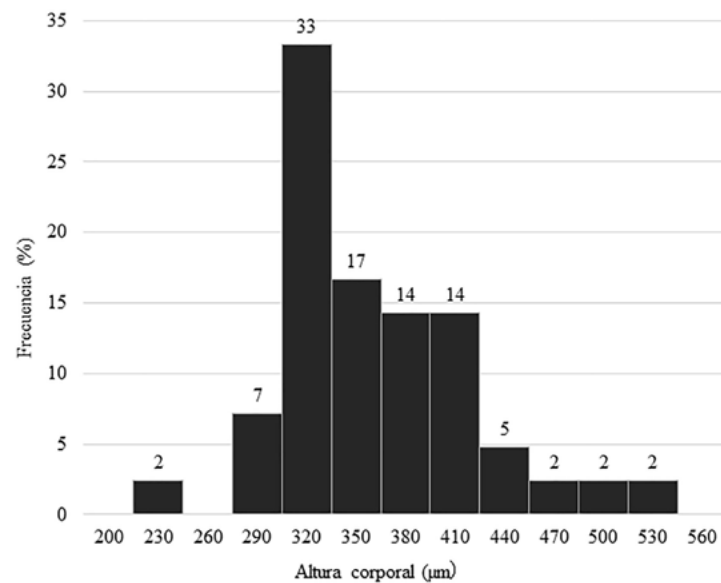


Día 12, n=129  
 Iteraciones de Bootstrap=1,000  
 Valor medio: 24,17712(CI 95%: 23,98 - 24,38)  
 Mediana: 24,17742(CI95%: 24,12 - 24,18)  
 Valor mínimo: 23,9669  
 Valor máximo: 24,3561  
 Desviación estándar: 0,108991

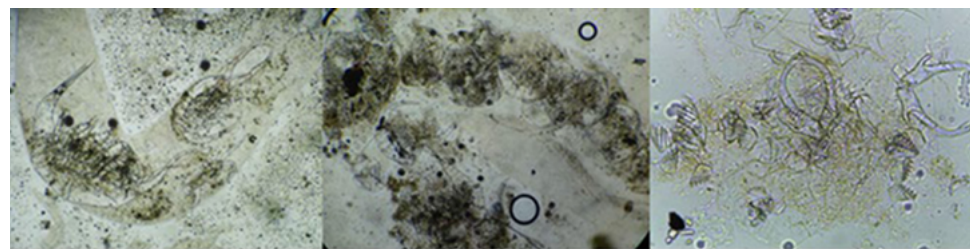
**Figura 2.** Distribuciones de frecuencia de la longitud total del cuerpo de postlarvas de bocachico (*P. magdalenae*) y resultados de la prueba de *bootstrap*

En primer lugar, mediante la observación del tracto digestivo se confirmó que las postlarvas se alimentaron selectivamente de *M. micrura* durante el segundo y tercer días. Sin embargo, la tasa de reproducción de *M. micrura* en el estanque de cría no fue suficiente para satisfacer la cantidad requerida por las postlarvas en el cuarto y quinto días, lo que las llevó a alimentarse de copépodos y rotíferos alternativamente durante este período. No obstante, en el sexto día se observó una recuperación en la población de *M. micrura* en el estanque de cría, lo que coincidió con un cambio en la alimentación de las postlarvas, que volvieron a alimentarse exclusivamente de *M. micrura*. Este patrón sugiere que *M. micrura* posee una alta capacidad reproductiva, un requisito clave para mantener su papel como principal alimento vivo de las postlarvas y recuperarse rápidamente de la presión que representa su consumo por parte de estas.

En segundo lugar, mediante la observación del contenido del tracto digestivo se demostró que las postlarvas cambiaron su dieta de zooplancton a bentos en el período posterior. Hasta el séptimo día, consumieron abundante zooplancton, principalmente *M. micrura*, pero a partir del octavo día comenzaron a alimentarse de algas verdes y diatomeas en el fondo del estanque, lo que indicó el cambio en su dieta hacia el consumo de organismos bentónicos.



**Figura 3.** Proporción de la altura corporal de *M. micrura* en trectos digestivos de cinco postlarvas de bocachico (*P. magdaleneae*)



**Figura 4.** Fotografías del zooplancton ingerido en el tracto digestivo de la postlarva de bocachico (*P. magdaleneae*) en condiciones controladas. Izquierda: dos copépodos sin digerir. Centro: *M. micrura* digerida y copépodos sin digerir. Derecha: aparato masticador (mástax) de rotíferos y dos ganchos grandes de *Asplanchna sp.*

**Tabla 2.** Monitoreo del proceso de alimentación y observaciones de la conducta durante la cría de postlarvas de bocachico (*P. magdalenae*)

Día	Densidad de <i>Moina micrura</i> en el estanque de cría (ml)	Contenidos del tracto digestivo			Observación / Operación
		<i>Moina micrura</i>	Copépodos	Rotíferos	
1		Estanque circular interior			
2	0,001	7	0	1	Postlarvas fueron transferidas al estanque exterior de cría desde el interior.
		7	0	0	
		4	0	0	
3	No se registraron datos	5	0	1	Ninguna observación particular en la capa superior de agua
		4	0	0	
		4	0	0	
4	0,176	3	2	2	Ninguna observación particular en la capa superior de agua
		5	2	0	
		4	2	0	
		0	5	8	
		9	1	0	
		5	3	5	
5	0,34	4	18	6	Ninguna observación en la capa superior de agua
		8	11	1	
		5	36	2	
		5	27	0	
		3	28	0	
6	0,355	65	0	0	Ninguna observación en la capa superior de agua
7	0,46	122+	0	0	Ninguna observación en la capa superior de agua
8	0,355	Las algas verdes y las diatomeas constituyeron la mayoría. Poca cantidad de <i>M. micrura</i>			Ninguna observación en la capa superior de agua
9	No se registraron datos	Las algas verdes y las diatomeas constituyeron la mayoría. Poca cantidad de <i>Nicha sp.</i> , especialmente de <i>M. micrura</i>			Ninguna observación en la capa superior de agua
10	0,069	Las algas verdes y las diatomeas fueron la mayoría. Poca cantidad de <i>M. micrura</i> Por la tarde, muchos boqueos en la capa superior de agua			Por la mañana, ninguna observación particular en la capa superior de agua
11	0,05	Por la mañana, las algas verdes y las diatomeas constituían la mayoría. Poca cantidad de <i>M. micrura</i> , rotíferos y ostrácodos			Por la mañana, muchos boqueos en la capa superior de agua y administración de torta húmeda
		Por la tarde, solamente torta húmeda de concentrado compuesto para acuicultura			Por la tarde, ninguna observación en la capa superior de agua
12	0,109	Solamente la torta húmeda de concentrados compuestos para acuicultura			No hubo boqueo en la capa superior de agua. Se observó una pequeña cría del <i>M. micrura</i> en una esquina de estanque.
13	0,223	Cosecha			No hubo boqueos en la capa superior de agua

Por último, se observó un comportamiento peculiar de las postlarvas durante el período. Los piscicultores locales lo denominan “boqueo” y se refiere a la apertura repetida de la boca en la superficie del agua, similar a los peces que toman aire. No se había podido explicar racionalmente el significado de este comportamiento, pero se descubrió que se



trataba de la búsqueda del alimento necesario para las postlarvas que habían experimentado un cambio en su dieta debido a la escasez de los alimentos necesarios en el fondo del estanque de cría.

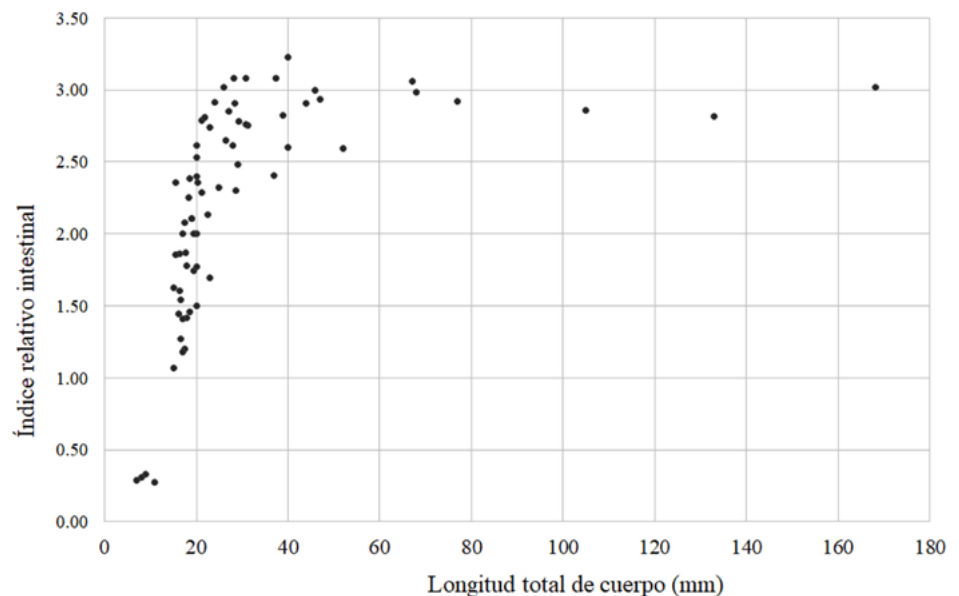
De hecho, cuando las postlarvas exhibieron el comportamiento de “boqueo” en la superficie del agua, morían una tras otra si permanecían en el estanque de cría. Ante esta situación, los piscicultores consideraban trasladar los alevines a un estanque de barro, debido, en parte, a la incomprensión de las razones para este comportamiento atípico de las postlarvas en la superficie del agua.

En el día 11, a las 07:00 am, el contenido del tracto digestivo se mantuvo sin cambios respecto al día anterior, con una gran cantidad de algas verdes, diatomeas y una pequeña cantidad de zooplancton. Además, se observó que muchas postlarvas “boqueaban” en la superficie del agua. A partir del día 11, con la administración dos veces al día de una torta húmeda hecha de alimento concentrado en todo el estanque, se observó que el “boqueo” dejó de ocurrir. En la mañana del día 12, las postlarvas ya habían adaptado su comportamiento, y el tracto digestivo estaba lleno de la torta húmeda ingerida el día anterior.

#### *Análisis del índice relativo intestinal*

Durante el crecimiento de las postlarvas el intestino se desarrolla en proporción a la longitud del cuerpo. Esto se refleja en un aumento continuo del índice relativo intestinal hasta que la función digestiva alcanza su madurez completa. Por lo tanto, este índice puede servir como un indicador del establecimiento pleno de la función digestiva de las postlarvas. Como se muestra en la **figura 5**, el índice relativo intestinal de los juveniles y adultos de bocachico es aproximadamente 3,0, en tanto que el índice relativo intestinal de las postlarvas durante su fase de crecimiento fluctúa entre 2,5 y 3,0; en este lapso su longitud total es de unos 25 a 30 mm. Esto sugiere que cuando las postlarvas llegan a los 25 a 30 mm desarrollan funciones digestivas comparables a los peces adultos (**Figura 5**).

Para medir la longitud del intestino, se extrajo quirúrgicamente el tracto digestivo de postlarvas y peces adultos y se depositó en un portaobjetos. A medida que los individuos crecen, el intestino se pliega, por lo que se intentó una cirugía para enderezarlo, pero no se logró mantenerlo completamente recto. Por ello, el índice relativo intestinal con respecto a la longitud total del cuerpo debe tomarse como una estimación aproximada.



**Figura 5.** Cambios en el índice relativo intestinal (longitud del intestino / longitud total del cuerpo) a medida que avanza el crecimiento del bocachico (*P. magdalenae*)

## Discusión

En el centro acuícola, la producción de alevines de bocachico se llevó a cabo mediante métodos tradicionales, basados en la experiencia práctica. Sin embargo, estos métodos no tienen el respaldo en conocimientos biológicos y técnicos, por lo que se presentaron problemas en la producción planificada. Se hicieron observaciones y experimentos básicos para esclarecer los conocimientos científicos que se requieren para aplicar una tecnología sostenible de producción. En el estudio se obtuvieron conocimientos importantes para mejorar la producción de bocachico, tal como se discute a continuación.

### *Crecimiento y desarrollo de alevinos*

En primer lugar, se discute la curva de crecimiento de las postlarvas de bocachico (*P. magdalenae*) obtenida en este estudio. Este es el primer ejemplo de crecimiento de postlarvas de bocachico durante el período de cría. Además, los resultados de la prueba de *bootstrap* para la población de postlarvas en el estanque de 250 Tn, presentó una distribución normal, lo que indica que las condiciones de cría, como la calidad y cantidad de alimento, así como la temperatura del agua y otros factores, fueron apropiados (Barky, 2000). Así, esta curva de crecimiento puede considerarse un modelo de referencia para el desarrollo del manejo de la cría adaptada a cada etapa en el programa de producción. El uso del modelo de crecimiento en la acuicultura puede mejorar la eficiencia y el rendimiento de la producción de alevines. Al predecir con precisión el tiempo necesario para alcanzar el tamaño de cosecha, los acuicultores pueden determinar el calendario de producción y utilizar los recursos de manera eficiente. La curva de crecimiento que aquí se presenta es el primer paso para desarrollar técnicas de gestión de la producción de bocachico. En el futuro, la incorporación de los factores ambientales, genéticos y nutricionales conducirá al desarrollo de técnicas de acuicultura sostenibles.

En segundo lugar, se estimó que la población del estanque de cría tenía una distribución normal en cuanto al desarrollo de postlarvas, lo que sugiere que los métodos de manejo de cría aplicados fueron adecuados. Sin embargo, la distribución de su longitud total basada en las mediciones, no presentó una forma normal (Figura 2), lo que podría estar relacionado con el comportamiento específico de las postlarvas y los alevines. Estas particularidades podrían haber influido en la distribución observada, por lo que se consideró su impacto en los resultados. Uno de los comportamientos peculiares de las postlarvas fue que siempre se ubicaron cerca de los lugares donde había *M. micrura* en el agua (Sysa, 2006; Czesny, 2011). Cuando las larvas se metamorfosearon en postlarvas, se observaron el tracto digestivo y la vejiga natatoria, los órganos que primero se desarrollan. Las postlarvas digirieron *M. micrura* con el fin de obtener los nutrientes necesarios para su desarrollo, mientras que la vejiga natatoria funcionó para mantener el cuerpo de la postlarva en la misma posición que *M. micrura*, con un mínimo gasto energético para alimentarse. Por otra parte, *M. micrura* se movió vertical y horizontalmente dependiendo del tiempo, el clima, la luz solar y la sombra (Hays, 2003), lo que hizo que las posiciones de las postlarvas cambiaran según estas condiciones.

Por otro lado, en el caso de los alevinos, uno de los comportamientos peculiares fue su sensibilidad a los sonidos y vibraciones, lo que provocó que todos huyeran a un lugar profundo y oscuro en el estanque de cría cuando percibían cambios o movimientos. Sin embargo, cuando comenzaron a alimentarse de torta mojada formaron un cardumen y nadaron enérgicamente en el mismo lugar. Además, cuando se instaló una manguera de aireación en el estanque de cría para suministrar oxígeno, nadaron repetidamente en cardumen hacia la fuerte corriente de agua que se elevaba desde el fondo del estanque. Cuando el aire de la manguera era débil, formaban un cardumen en línea en la pared del estanque de cría y nadaban en largas filas a lo largo de esta. Por otra parte, cuando se vertió agua en el estanque de cría, saltaron por turnos uno a uno hacia la columna de agua que caía. Estos comportamientos peculiares eventualmente condujeron a errores de muestreo.

Tales comportamientos no habían sido registrados anteriormente y se informaron por primera vez en este estudio. Considerando las características de comportamiento descritas, se entiende que eventualmente hayan conducido a errores de muestreo.

Este es el primer estudio observacional detallado realizado en un tanque de reproducción a gran escala de 250 Tn. Se obtuvo un conocimiento valioso sobre las características de comportamiento y la distribución del crecimiento de los alevines. Sin embargo, también quedó claro que existen dificultades en el muestreo cuando se trata de un gran número de individuos, además de otros aspectos que difieren de los experimentos a pequeña escala. En la práctica, el muestreo perfecto es difícil y ciertos errores son inevitables.

#### ***Utilización de *Moina micrura* como alimento vivo***

La descripción de la preparación del estanque de cría con *M. micrura* proporcionó información relevante. La reproducción de *M. micrura* y los rotíferos en estanques de lodo habitados por carpas es un fenómeno que merece atención (Brian & Bartels, 2015). Se sabe que el comportamiento de alimentación de las carpas perturba el fondo del estanque de lodo, liberando partículas y materia orgánica en el agua. Ello produce un ambiente favorable para la reproducción del zooplancton. Además, durante este proceso las partículas de fitoplancton también se levantan y se convierten así en una fuente importante de alimento para *M. micrura*.

Por otro lado, en esta etapa de postlarvas, lo más importante para ellas es lograr una alimentación eficiente con el mínimo consumo de energía, con el fin de maximizar su crecimiento. Debido a que las postlarvas aún no completan el desarrollo morfológico necesario para escapar de los depredadores, la defensa contra sus enemigos es difícil. En este período las postlarvas permanecen a la misma profundidad que *M. micrura*, con el fin de hacer más eficiente su alimentación y priorizar el crecimiento.

Se puede concluir que *M. micrura* cumple con las condiciones necesarias como organismo alimenticio adecuado para la cría de postlarvas de bocachico. En primer lugar, las postlarvas se alimentaron selectivamente de *M. micrura*, alcanzando así un buen crecimiento. En segundo lugar, la longitud de la mandíbula de las postlarvas correspondió al tamaño de *M. micrura* (Figura 3), lo que indica su idoneidad como alimento vivo (Shirota, 1970; Umeki, 2008). Asimismo, las presas exógenas como *M. micrura* se destruyen físicamente en la faringe o el tracto digestivo de las postlarvas. El cladóceros se descompone al ser ingerido, liberando proteínas coloidales solubles del protoplasma de las células, lo cual resulta altamente beneficioso para las postlarvas (Kanazawa, 2003). De hecho, fue posible observar que las postlarvas con una capacidad digestiva baja fueron capaces de digerir y absorber *M. micrura*. Además, su capacidad reproductiva es notable, como pudo observarse en el estanque de cría (Tabla 2). Por último, *M. micrura* se distribuye naturalmente donde el bocachico vive, es decir, que los piscicultores en estas zonas pueden utilizarlas como alimento vivo con bajo costo.

#### ***Modelo del comportamiento alimentario de las postlarvas de bocachico***

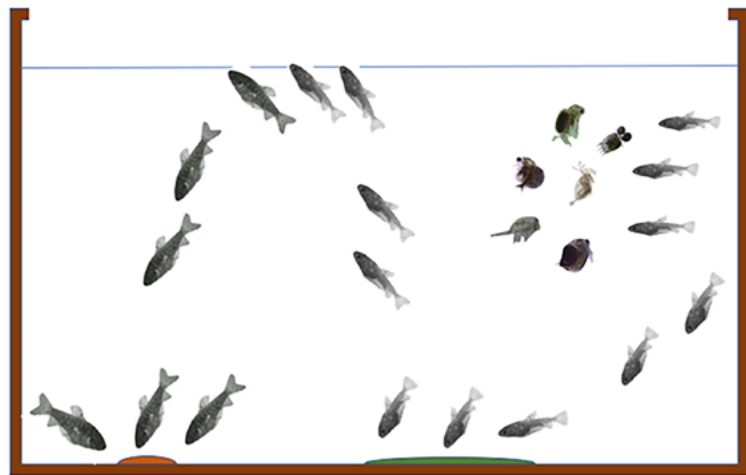
Durante la producción de alevinos se observaron diferencias significativas en comparación con producciones anteriores. Específicamente, las densidades de *M. micrura* en el estanque de cría fueron relativamente más altas, lo que llevó a un cambio ecológico importante en el comportamiento alimentario durante la etapa posterior de las postlarvas. En los tractos digestivos se encontraron grandes cantidades de zooplancton, así como de *M. micrura*, rotíferos y copépodos. La observación más notable es la ausencia de fitoplancton, pues solo se halló zooplancton. Posteriormente, se observaron cambios significativos en los hábitos alimentarios, con cantidades considerables de fitoplancton encontradas en el tracto digestivo.

A partir de estas observaciones, se puede inferir que las postlarvas cambiaron su comportamiento alimentario, pasando de consumir zooplancton a consumir organismos bentónicos. Además, debido a la alta densidad de postlarvas en el estanque de cría, la mayoría de la biomasa de las presas en el fondo fue consumida, lo que llevó a que las postlarvas se

desplazaran hacia la superficie en busca de nuevas presas, comportamiento conocido como “boqueo”. Cuando las postlarvas realizaban el boqueo en la superficie, se les proporcionó una torta húmeda en el fondo, lo que las llevó a descender y consumir el alimento concentrado. Al día siguiente, se observó que el tracto digestivo estaba lleno de éste.

Se pudo concluir que las postlarvas exhibieron un comportamiento alimentario típico, como se muestra en el modelo de la **figura 6**, el cual se propone como una nueva descripción del comportamiento alimentario a partir de las observaciones detalladas de la producción de alevines bajo observación, y no necesariamente derivada de fuentes publicadas previamente.

Considerando el modelo de comportamiento alimentario en un ambiente de producción (**Figura 6**), el “boqueo” que ocurre en la etapa posterior de la cría parece ser un intento de buscar presas en la superficie del agua, donde los alevines encuentran el alimento concentrado en polvo. Sin embargo, este tipo de alimentación no puede considerarse natural, ya que podrían convertirse en presas de aves como el martín pescador. Además, existe la posibilidad de morir de inanición si no encuentran una presa adecuada. Por el contrario, las postlarvas aceptan como presa la torta húmeda proporcionada en el fondo. Desde esta perspectiva, es razonable suponer que el comportamiento alimentario del bocachico en su entorno natural se asemeja al que se muestra en el modelo de la **figura 7**.



**Figura 6.** Modelo del comportamiento típico del hábito alimentario de las postlarvas de bocachico (*P. magdaleneae*) en estanque de cría



**Figura 7.** Modelo del comportamiento típico de hábito alimentario de las postlarvas de bocachico (*P. magdaleneae*) en el ambiente natural

### *Alimentación de las postlarvas e índice relativo intestinal*

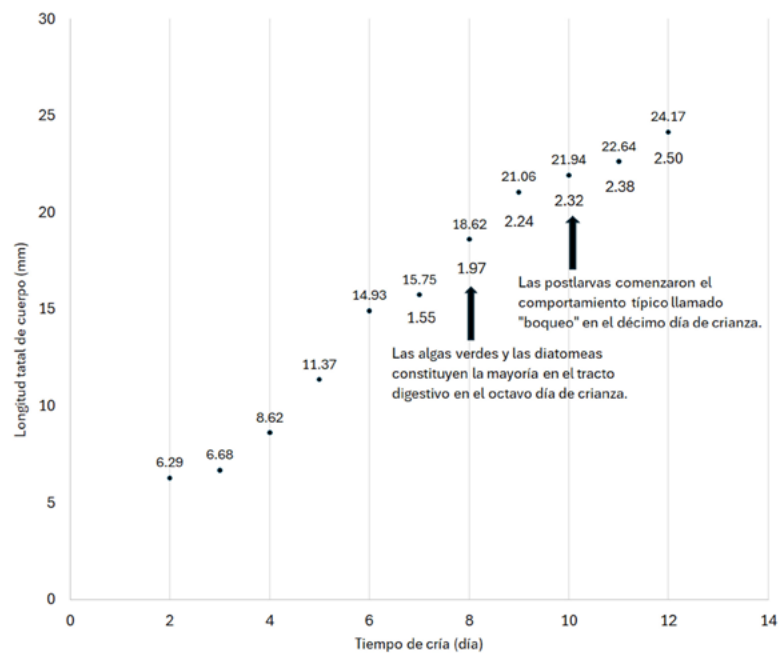
Se examinó la relación entre el crecimiento y el IRI mediante la observación de la cría en el estanque de 250 Tn, los registros del contenido intestinal y el comportamiento de las postlarvas. Se encontró una correlación lineal entre la longitud intestinal, Y (mm), y la longitud total del cuerpo, X (mm). La ecuación de regresión obtenida fue

$$Y = 4,2689 X - 42,808 \quad (15 \leq X \leq 30), n=48,$$

con un coeficiente de determinación,  $R^2$ , igual a 0,8572. Esto indica que se dio una cierta relación lineal positiva entre la longitud total del cuerpo y la longitud intestinal del bocachico, lo que sugiere que esta se puede estimar a partir de la longitud del cuerpo.

Utilizando el promedio de los valores de longitud del cuerpo, se estimó la longitud intestinal en cada punto y se calculó el IRI correspondiente. Los resultados señalan que el desarrollo intestinal progresa con el crecimiento de las postlarvas, lo que está relacionado con un aumento en el IRI.

Según las observaciones de la **tabla 2**, la mayoría del contenido digestivo del día 8 consistió en algas verdes y diatomeas. En el día 10 se observó el boqueo en el estanque de cría. Según los datos de la longitud total, algunas larvas habían alcanzado un máximo de 20,4 mm en el día 8, y para el día 10 algunas ya habían alcanzado los 25 mm (**Figura 2**). De estas observaciones se puede inferir que el cambio en el comportamiento alimentario de las postlarvas comienza aproximadamente cuando la longitud total del cuerpo llega a los 18 mm en el día 8 de la cría. Sin embargo, el IRI se acerca gradualmente a 2,5, con valores de 2,10 en el día 8, de 2,28 en el día 9 y de 2,31 en el día 10. Esto sugiere que el cambio en el hábito alimentario ocurre al inicio y posteriormente los alevines se adaptan a nuevas fuentes de alimento a medida que el tracto digestivo se desarrolla, lo que aumenta el IRI y estabiliza la función digestiva. Es decir, en el presente estudio, las postlarvas de bocachico comenzaron a cambiar sus hábitos alimentarios al alcanzar una longitud total de 18 mm y un IRI similar al de los peces adultos cuando llegan a los 25 a 30 mm de longitud total (**Kramer & Bryant, 1995; Karachle & Stergiou, 2010**).



**Figura 8.** Curva de crecimiento e índice relativo intestinal (IRI) de las postlarvas de bocachico en el estanque de 250 Tn. Cada punto representa la longitud promedio del cuerpo (arriba) y el IRI (abajo) correspondiente a cada día de cría. Se observó un cambio en el contenido intestinal de zooplancton a fitoplancton en el día 8, indicando el inicio de la transición alimentaria. Además, se registró el comportamiento de “boqueo” en el día 10.

El alcanzar un IRI adulto cuando la longitud corporal es relativamente pequeña podría conferir a las postlarvas de bocachico una ventaja en términos de crecimiento y supervivencia (Arévalo, 2023). Una mayor eficiencia digestiva les permitiría mejorar la extracción de nutrientes, favoreciendo un crecimiento más rápido y una mejor condición física (German & Horn, 2006; Zhao *et al.*, 2021), lo que, a su vez, podría aumentar sus posibilidades de evitar la depredación durante las etapas tempranas de desarrollo. Por ello, el desarrollo de un IRI adulto a los 25 mm de longitud podría considerarse un hito importante en la ontogenia del bocachico, que marca la transición hacia una fase de mayor autosuficiencia nutricional y mejores perspectivas de supervivencia (Portella *et al.*, 2014).

### ***Desafíos en el desarrollo de la producción de alevines***

Con el fin de adquirir los conocimientos necesarios para la producción, este estudio se centró en la comprensión del comportamiento alimentario del bocachico, lo cual es fundamental para la acuicultura y para mejorar las técnicas de producción mediante experimentos y observaciones continuas. Sin embargo, hay cuatro aspectos importantes que quedan por abordar. Los primeros dos son de carácter técnico y los otros dos se refieren a la estructura del sistema de producción.

*Desarrollo de técnicas de cría.* Primero debe desarrollarse una técnica de cría de *M. micrura*, un componente crítico en la dieta de las postlarvas, para lo cual deben estudiarse dos elementos: el fitoplancton y el alimento artificial.

En segundo lugar, es necesario introducir bocachicos naturales para mejorar la estructura genética de los peces reproductores. Para ello debe entrenarse a los individuos, de manera que se habitúen a la alimentación con concentrados (Gavery, 2017).

Una vez desarrollados los aspectos técnicos, el siguiente paso es construir un sistema de producción adecuado al objetivo y al lugar de cría, pues los procesos de producción requeridos serán diferentes en una granja de cría moderna y bien equipada de aquellos necesarios en una granja rural con instalaciones mínimas.

En el caso de la liberación en aguas naturales, una característica particular del bocachico es que, después de la metamorfosis, los alevines forman cardúmenes y se mueven a gran velocidad mientras se alimentan. Sin embargo, la variabilidad de su tamaño en estanque puede impedir la formación cohesiva de estos cardúmenes, por lo que, durante la fase de producción, debe evitarse que tal variabilidad sea demasiado grande. Se deben considerar la supervivencia y la adaptación de los individuos liberados en los ecosistemas naturales, ya que el comportamiento de cardumen es esencial en estos entornos.

Se prevé que estos esfuerzos darán lugar a técnicas de cría de alevines más sostenibles. Además, los resultados obtenidos de estos estudios serán de gran valor para el avance de la industria acuícola y fomentarán la adopción de prácticas de cría sostenibles.

### **Agradecimientos**

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro Acuícola y Agroindustrial de Gaira, perteneciente al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), ubicado en Santa Marta (Magdalena), Colombia. La investigación se realizó entre abril de 2018 y marzo de 2020, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), y su objetivo fue el mejoramiento de las técnicas de producción de alevines de bocachico. Agradecemos al Ingeniero Aroldo Daza del Centro Acuícola y Agroindustrial, a los Profesores Pedro Eslava Eljaiek de la Universidad de Magdalena y Víctor Atencio García de la Universidad de Córdoba, a la Ingeniera Pesquera Socorro del Rosario Sánchez Fajardo (SENA) y al Licenciado Juan Fuentes Reinés, por sus valiosos comentarios y el apoyo en las correcciones del manuscrito.

### **Referencias**

Arévalo, E., Cabral, H. N., Villeneuve, B., Possémé, C., Lepage, M. (2023). Fish larvae dynamics in temperate estuaries: A review on processes, patterns and factors that determine recruitment. *Fish and Fisheries*, 24, 466-487. <https://doi.org/10.1111/faf.12740>

- Atencio, G. V., Kerguelén, E., Wadnipar, L., Narváez, A.** (2003). Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Revista MVZ Córdoba*, 8(1), 254-260. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69380103>
- Atencio, G. V., Kerguelén, E., Naar, E., Petro, R.** (2013). Desempeño reproductivo del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) inducido dos veces en un mismo año. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 3304-3310. <https://doi.org/10.21897/rmvz.192>
- Barki, A., Harpaz, S., Hulata, G., Karplus, I.** (2000). Effects of larger fish and size grading on growth and size variation in fingerling silver perch. *Aquaculture International*, 8 (5), 391-401.
- Cordero, A. C., Pertuz, V. B., Solano, J.** (2003). Reproducción inducida del bocachico (*Prochilodus magdalenae*, Steindachner, 1878) con ovaprim®. *Revista MVZ Córdoba*, 8(2), 335. <https://doi.org/10.21897/rmvz.516>
- Czesny, S. J., Graeb, B. D., Dettmers, J. M.** (2011). Ecological consequences of swim bladder noninflation for larval yellow perch. *Transaction of the American Fisheries Society*, 134(1), 1011-1020. <https://doi.org/10.1577/T04-016.1>
- de la Rosa, J., Fontalvo P.P., Orozco-Berdugo G., Narváez-Barandica J.C.** (2020). Caracterización genética de reproductores de *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Prochilodontidae) usados en programas de repoblamiento en Colombia. *Journal of Basic & Applied Genetics*, 31(1), 53-56. <https://doi.org/10.35407/bag.2020.31.01.06>
- Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay** (2018). *Boletín Estadístico Pesquero*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay
- Fuentes-Reinés, J. M., Eslava-Eljaiek, P., Elmoor-Loureiro, L. M. A.** (2019). Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) of a temporary shallow pond from northern Colombia. *Revista Peruana de Biología*, 26(3), 351-366. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i3.16779>
- García, J. J., Celis, L. M., Villalba, E. L., Mendoza, L. C., Brú, S. B., Atencio, V. J., Pardo, S. C.** (2011). Evaluación del policultivo de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Revista MVZ Córdoba*, 58(2), 71-83.
- Gavery, M. R. & Roberts, S. B.** (2017). Epigenetic considerations in aquaculture. *PeerJ*, 5, e4147.
- German, D. P. & Horn, M. H.** (2006). Gut length and mass in herbivorous and carnivorous prickleback fishes (Teleostei: Stichaeidae): ontogenetic, dietary, and phylogenetic effects. *Marine Biology*, 148(5), 1123-1134.
- González, J. F., Suárez, R., Gil, B., Torres, G.** (2005). Exposición aguda a tres concentraciones de nitrito en juveniles de bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 52(1), 36-43.
- González-Uribe, R. A. & Wills-Franco, G. A.** (2009). Evaluación de dietas isoenergéticas con varios niveles de proteína y de harina de pescado en alevines de bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 69-77.
- González-Uribe, R. A. & Wills, A.** (2003). Evaluación del desempeño de los alevinos bocachico (*Prochilodus magdalenae*) steindachneer, 1878 sometidos a dos tipos de dieta. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 50(2), 50-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40763920700>
- Gómez, D.** (2014). Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca. *Biota Colombiana*, 15(2), 3-25.
- Hays, G. C.** (2003). A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migration. *Hydrobiologia*, 503(1), 163-170. <http://dx.doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008476.23617.b0>
- Huser, B. & Bartels, P.** (2015). Feeding ecology of carp, en *Biology and Ecology of Carp*. Taylor and Francis Group, eBook ISBN: 9780429171352.
- Kanazawa, A.** (2008). Nutrition of marine fish larva. *Journal of Applied Aquaculture*, 13(1-2), 103-143. [https://doi.org/10.1300/J028v13n01\\_05](https://doi.org/10.1300/J028v13n01_05)
- Karachle, P. K. & Stergiou, K. I.** (2010). Gut length for several marine fish: relationships with body length and trophic implications. *Marine Biodiversity Records*, 3, e106.
- Kramer, D. L. & Bryant, M. J.** (1995). Intestine length in the fishes of a tropical stream: 2. Relationships to diet—the long and short of a convoluted issue. *Environmental Biology of Fishes*, 42(2), 129-141.
- Landínez-García, R. M., Narváez J. C., Márquez E. J.** (2020). Population genetics of the freshwater fish *Prochilodus magdalenae* (Characiformes: Prochilodontidae), using species-specific microsatellite loci. *PeerJ*, 8, e10327. <https://doi.org/10.7717/peerj.10327>

- War, M. U. D. & Altaff, K.** (2011). High density culture of Cradoceran *Moina micrura* (Kruz,1874) by using poultry manure. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, 54(3), 131-135.
- Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas - Minagricultura.** (2021). Acuicultura en Colombia Cadena de la Acuicultura Cifras del Sector. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Mojica, J. I., Usmá, J. S., Álvarez-León, R., Lasso, C. A.** (Eds). (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.
- Nakagawa, H., Umino, T., Sekimoto, T., Ambas, I., Montgomery, W. L., Nakano, T.** (2002). Characterization of the digestive tract of wild ayu. *Fisheries Science*, 68, 341-346.
- Nakamoto, T., Inada, Y., Ushijima, T., Hagiwara, A.** (2007). High Density Large-scale Culture of *Moina macrocopa* by Improvement of Aeration Equipment. *Aquaculture Science*, 55(3), 423-429. <https://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=JP2008000066>
- Portella, M. C., Jomori, R. K., Leitão, N. J., Menossi, O. C. C., Freitas, T. M.** (2014). Larval development of indigenous South American freshwater fish species, with particular reference to pacu (*Piaractus mesopotamicus*): A review. *Aquaculture*, 432, 402-417.
- Prieto, G. M. & Atencio, G. V.** (2008). Zooplankton en la larvicultura de peces neotropicales. *Rev. MVZ Córdoba*, 13(2), 1415-1425.
- Puertonegocios.** (2019). *La exportación de sábalo en Argentina*. <https://puertonegocios.com/2019/02/26/la-exportacion-de-sabalo-en-argentina/>
- Quintero, P. V. E., Cardona, A. M., Grisales, F.** (2009). Producción artesanal del rotífero *Philodina* sp. y de algas para la alimentación de postlarvas de bocachico. *Acta Agronómica*, 58(1), 53-56.
- Shirota, A.** (1970). Studies on the mouth size of fish larvae. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 36(4), 353-368. <https://doi.org/10.2331/suisan.36.353>
- Sysa, P., Ostaszewska, T., Olejniczak, M.** (2006). Development of digestive system and swim bladder of larval nase (*Chondrostoma nasus* L.). *Aquaculture Nutrition*, 12(5), 331-339. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00368.x>
- Torres, G. L. A. & Cohen, J. G. L.** (1993). Engorde de Bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae* STEINDACHNER 1878) comparando tres tratamientos de abonado (Boñiga; Boñiga-taruya; 30-10-5) y ensayando sustratos para perfiton. Tesis para optar el título de Ingeniero pesquero, Facultad de Ingeniería pesquera, Universidad del Magdalena.
- Umeki, K., Imai, T., Goshi, M., Kojima, T., Akiyama, N.** (2008). Changes in Size of Possible to Feed Food Organisms and Food Granules with Growth of Ayu (*Plecoglossus altivelis*) Larvae and Juveniles. *Aquaculture Science*, 56 (4), 469-478.
- Valbuena, D. C.** (2012). Evaluación de la estructura genética de sistemas de reproductores de Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) (Pisces: Prochilodontidae) utilizados para repoblamiento. Tesis de pregrado para optar el título de Ingeniero pesquero, Facultad de Ingeniería pesquera, Universidad del Magdalena.
- Yoshimura, H.** (2013). Measuring Correlation Coefficient Confidence intervals from Normally and non-normally Distributed Data. *Memoirs of Nara University*, 41, 271-285.
- Zhao, X., Hu, C., Zhang, M., Ren, C., Ma, Z., Xie, S.** (2021). Ontogenetic development of the digestive system and growth in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) larvae. *Aquaculture Reports*, 20, 100700.