

MANEJO DE REPRODUCTORES Y REPRODUCCIÓN INDUCIDA DE PECES NATIVOS

Atencio García, V.^{1*}; Bello Sierra, B.; Bello Sierra, L.; Espinosa, J.

Broodstock management and induced breeding of native fish

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la densidad y la tasa de alimentación en el desempeño reproductivo de bagre blanco *Sorubim cuspicaudus*. Machos y hembras de dos años de edad, en proporción 1:1, fueron sometidos a tres densidades de siembra (0,25, 0,5 y 1 pez/m²) y dos tasas de alimentación (1 y 3% de la biomasa total) durante doce meses. Se utilizó un diseño factorial 3x2, completamente al azar, cada tratamiento con tres repeticiones, para un total de 18 estanques experimentales, con área promedio de 45 m² cada uno. Se les alimentó con dieta comercial con 45% de proteína bruta, complementada, una vez al mes, con peces forrajeros (alevinos de *Oreochromis niloticus*). Mensualmente se realizaron muestreos para identificar signos de maduración sexual en machos y hembras. Los reproductores maduros eran sometidos a inducciones hormonales con 0,4 ml de Ovaprim®/Kg de peso, en dosis única. Los efectos de la densidad de siembra y la tasa de alimentación en los reproductores fueron evaluados a través de número de hembras maduras, fecundidad, índice de ovulación, número de ovocitos por gramo, diámetro ovocitario; para el caso de los machos, número de machos maduros, volumen seminal, movilidad total, concentración espermática y tiempo de activación. Los resultados de este estudio permiten sugerir que una densidad entre 0,5 (308 g/m²) y 1 pez/m² (556 g/m²) y una tasa de alimentación de 1% de la biomasa total es adecuado para el manejo de reproductores de bagre blanco y lograr un buen desempeño en las reproducciones inducidas.

Palabras claves: densidad de siembra, reproducción, alimentación, desempeño reproductivo

ABSTRACT

The aim was to evaluate the effect of stocking density and feeding rate on reproductive performance of trans-andean shovelnose catfish *Sorubim cuspicaudus*. Males and females of two years, in a 1:1 ratio, were evaluated at three stocking densities (0,25, 0,5 and 1 pez/m²) and two feeding rates (1 and 3% of total biomass) for twelve months. We used a 3x2 factorial design, completely randomized with three replications each, for a total of 18 experimental ponds, with average area of 45 m². They were fed a commercial diet with 45% crude protein, supplemented once a month, forage fish (fingerlings of *Oreochromis niloticus*). Were sampled monthly for signs of sexual maturation in males

¹*I.P. Esp. M.Sc, Director del Centro de Investigación Piscícola (CINPIC), Profesor titular de la Universidad de Córdoba Col. Montería. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Dpto de Ciencias Acuícolas, Email: vatencio@hotmail.com

and females. Sexually mature animals were undergoing to hormonal induction with 0.4 ml of Ovaprim®/Kg body weight, in single dose. The effects of stocking density and feeding rate on the breeder were evaluated by number of mature females, fertility, ovulation rate, number of eggs per gram, oocyte diameter; in the case of males, number of males mature, semen volume, total mobility, sperm concentration and activation time. The findings of this study allow to suggest that a density between 0.5 (308 g/m²) and 1 fish/m² (556 g/m²) and a feed rate of 1% of the total biomass is suitable for trans-andean shovelnose catfish broodstock management and achieving good performance in the induced reproduction.

Key words: stocking density, reproduction, feeding, reproductive performance

INTRODUCCIÓN

Los reproductores de peces se manejan con el objetivo obtener un buen desempeño reproductivo cuando son sometidos a las inducciones hormonales; es decir que respondan positivamente a los protocolos de reproducción inducidas, produzcan gametos de calidad, adecuadas tasas de fertilización, eclosión y sobrevivencia larval. Un manejo eficiente de reproductores en cautiverio depende del conocimiento del comportamiento reproductivo de la especie, época reproductiva, edad y tamaño de primera madurez sexual, origen de los reproductores, requerimientos nutricionales, densidad y tasa de alimentación, entre otros. El conocimiento de estos factores es el punto de partida para el adecuado manejo de los reproductores, ya que el éxito de las reproducciones inducidas hormonalmente depende en gran medida del manejo zootécnico que se les ofrezca a los reproductores [1]. La nutrición de los reproductores es considerada como uno de los principales factores que influyen en el éxito de la reproducción en cautiverio. Una alimentación inadecuada puede perjudicar la formación de gónadas, la respuesta a los tratamientos hormonales, el desarrollo de los embriones y la resistencia a la manipulación durante la reproducción, incrementándose tanto la mortalidad post-desove de los reproductores como la larval [2]. Incluso si la cantidad y calidad de alimento suministrado a los reproductores no son los adecuados, es posible que se inhiba la vitelogénesis [3]. Por eso es importante conocer el comportamiento, hábito alimenticio y los requerimientos nutricionales de los reproductores, pues una ración con niveles de proteína y vitaminas adecuadas en las fases maduración gonadal (vitelogénesis) es primordial en el éxito de los protocolos de reproducción inducida.

La densidad es un factor importante para el desarrollo gonadal y en general para el desempeño reproductivo de los peces, ya que altas densidades generan competencia por espacio, oxígeno, alimento, entre otros, que produce estrés; es conocido que los reproductores durante el periodo de maduración gonadal son más sensibles a los efectos del estrés [4]. Agentes estresantes durante el proceso de maduración gonadal puede afectar la calidad de los huevos y el desempeño reproductivo [5]. Woynarovich & Horváth [6] señalaron que altas densidades causaron un efecto negativo sobre el desarrollo gonadal.

Existen vacíos en el manejo zootécnico que se le debe ofrecer a los reproductores de peces reofilicos, particularmente en términos de la densidad a la cual se debe manejar. Algunos autores han sugerido que la densidad de manejo de reproductores de peces nativos debería oscilar entre 250-300 g/m² [7, 8]. No obstante, una densidad muy baja puede resultar en un uso ineficiente del espacio del estanque y en consecuencia de

dinero; aunque Baldisserotto [9] reportó densidades de 50 a 300 g/m² para cachama negra *Colossoma macropomum* y de 50 a 700 g/m² para cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Franco [10], recomendó el manejo de los reproductores de pirarucú *Arapaima gigas* a densidad entre 144 y 188 g/m² y una ración por día de alimentación entre 1% y 2% de la biomasa total para obtener reproducción de esta especie en cautiverio.

Bagre blanco *Sorubim cuspicaudus*, es un pimelódido con potencialidad para la piscicultura colombiana por la calidad de su carne, ausencia de espinas intramusculares, y su alto valor comercial [11]. Estas características lo perfilan como una especie para diversificar y generar competitividad en la piscicultura continental colombiana. Sin embargo, no se ha podido ofrecer como alternativa segura de cultivo por la carencia de tecnologías confiables en la producción continua de alevinos. El desarrollo de tecnologías confiables de producción de alevinos requiere superar problemas en cada una de las tres etapas que conforman la producción de alevinos a saber: a) conformación y mantenimiento del plantel de reproductores, b) reproducción inducida y c) larvicultura y alevinaje [12]. Actualmente se conocen protocolos para la reproducción inducida y manejo en la larvicultura de bagre blanco; sin embargo no existe información sobre el manejo de los reproductores en cautiverio. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y la tasa de alimentación en el desempeño reproductivo de Bagre blanco sometido a reproducción inducida.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC), localizado en el municipio de Montería (Córdoba), con coordenadas geográficas de 8° 47,5' de Latitud Norte y 75° 51,8' de Longitud Oeste, a 15 metros sobre el nivel del mar y valores anuales promedios de temperatura de 27,5°C, humedad relativa del 85% y precipitación promedio anual de 1100 mm.

Tratamientos experimentales y manejo

Fueron utilizadas hembras y machos adultos de bagre blanco de dos años de edad, en proporción 1:1 (macho:hembra); las cuales fueron sometidas a tres densidades de siembra (0,25, 0,5 y 1 pez/m²) y dos tasas de alimentación (1 y 3% de la biomasa total) durante doce meses. Se ofreció como ración alimento comercial con 45% de proteína bruta, seis días a la semana, complementada una vez al mes con peces forrajeros (alevinos de tilapias *Oreochromis niloticus*). Cada tratamiento contó con tres repeticiones, requiriéndose 18 estanques en tierra con área promedio de 45 m² cada uno. Se utilizaron en total 240 reproductores de bagre blanco. Mensualmente las hembras fueron revisadas con el fin de identificar signos de maduración sexual como abultamiento del vientre e hiperemia de la papila urogenital; la evaluación fue complementada con una biopsia ovárica, que se realizó con una sonda naso-gástrica (Medex, Levin calibre 8, Col) para tomar muestras de ovocitos, medir su diámetro y determinar la posición de la vesícula germinativa. Como criterio de selección para las hembras aptas para los tratamientos de inducción hormonal, se tuvo en cuenta lo observado por Muñoz & Martínez [13] para bagre blanco; es decir, hembras con de diámetro ovocitario promedio superior a 1000 µm y por lo menos 40% de ovocitos con

vesícula germinativa excéntrica. Los machos fueron seleccionados cuando liberaron semen a leve presión abdominal en dirección cráneo-caudal. Todos los reproductores fueron marcados electrónicamente con un microchips (Glas Tag 8X2mm Q5, China), el cual fue insertados intramuscularmente en la región dorsal y eran detectados mediante un lector digital (Real Trace, RT100, China) que permitieron la identificación y registro individual del desempeño reproductivo de cada ejemplar.

Protocolo de inducción hormonal y evaluación del desempeño reproductivo

Los reproductores seleccionados para inducción hormonal se pesaron y colocaron durante 24 horas en piletas circulares con capacidad de 4 m³, con flujo constante de 1 a 1,5 L/min. La inducción hormonal se realizó con 0,4 mL de Ovaprim[®]/Kg de peso vivo en dosis única. Las hembras inducidas hormonalmente se revisaron cada media hora a partir de las diez horas post-inducción para determinar el momento de la ovulación. El desempeño reproductivo se determinó mediante el porcentaje de ovocitos maduros, índice de ovulación, fecundidad relativa, número de ovocitos por gramo, diámetro ovocitario, volumen seminal, concentración espermática, tiempo de activación espermático, tasa de fertilización y tasa de eclosión.

Ovocitos maduros e Índice de ovulación. El porcentaje de ovocitos maduros se estimó mediante la lectura de biopsias ováricas, como la suma de los porcentajes de ovocitos con vesícula germinativa en posición migrando, periférico y maduro. Se consideró como el número de hembras ovuladas sobre el total de las hembras tratadas (Índice de ovulación = hembras ovuladas/hembras tratadas*100). La obtención de los productos sexuales se realizó mediante masaje en sentido cráneo caudal en la región abdominal. Los huevos fueron colectados en una vasija plástica seca y pesados en una balanza digital (OHAUS[®] EC series, USA).

Fecundidad relativa, número de ovocitos por gramo y diámetro ovocitario. Para cada hembra se pesaron los desoves (g) y luego se dividió por el peso de las hembras expresado en Kg. Para estimar el número de ovocitos por gramo se tomó una muestra del desove, entre 0,5 y 1 g de ovocitos, se preservaron en formol 1% neutralizado y luego se contaron los ovocitos en cada muestra. De cada muestra, por lo menos 50 ovocitos, fueron fotografiados con ayuda de un estereoscopio (Carl Zeiss, Axiostar plus, Alemania) con cámara fotográfica incorporada (Canon, Powershot G10, Japón) y luego el diámetro medido con un analizador de imagen (Axionvision 4.3, Alemania).

Obtención y evaluación del semen. El semen se recolectó entre 12 y 14 horas después de la inducción hormonal, se realizó un masaje abdominal en sentido cráneo-caudal colectándolo en tubos Eppendorf de 2 mL secos y estériles. Antes de colectar el semen se realizó masajes para eliminar restos de orina o heces y evitar la contaminación del semen. Se evaluó número de machos maduros, volumen seminal, movilidad total, tiempo de activación y concentración espermática. El volumen seminal se midió en tubos Eppendorf de 2 mL o en jeringas tipo insulina de 1mL. Para evaluar la movilidad total, se utilizó una cámara de conteo Makler de 10 μL (Sefi Medical Instruments Ltd, Israel); a la cual se le agregó una muestra de 0,25 μL de semen y 75 μL de agua bidestilada (dilución 1:300). Se homogenizó y con la ayuda de un microscopio óptico de contraste de fase (Nikon, E50i, Japón) y el programa asistido por computadora para análisis de semen Sperm Class Analyzer SCA (Microptic SL, SCA VET 01, España) se midió la movilidad total. El tiempo de activación, se determinó desde el instante en que se adicionó la solución activadora (agua bidestilada) a la muestra de semen hasta que

alrededor de 90% de los espermatozoides dejaron de moverse. Para la concentración espermática, se utilizó 1 μ L de semen mezclado con 699 μ l de glucosa al 6% en un Eppendorf de 2 mL (dilución 1:700), la mezcla se homogenizó durante cinco segundos en vortex a 1200 rpm (Velp Scientifica, Zxclasic, China). Luego se tomó 10 μ L y se colocó en la cámara de conteo de Makler para la determinación de la concentración mediante el SCA. Este procedimiento se realizó tres veces para obtener un valor promedio de la concentración espermática del semen analizado.

Tasa de fertilización y eclosión. La fertilización se realizó en seco, luego los huevos se colocaron en incubadoras cilindro-cónicas de 60 L, con un flujo de 1,5 a 2 L/min. A las cuatro horas post-fertilización (HPF) se midió la tasa de fertilización mediante la toma de tres muestras por incubadora, de 100 ovocitos cada una, tomadas al azar con una pipeta de vidrio de 0,5 cm de diámetro y expresada como el porcentaje de embriones viables sobre el número total de ovocitos. Se consideran como huevos fertilizados viables a los que presentaron aspecto traslúcido; los no fertilizados presentaron coloración blanquecina [14]. Finalmente la tasa de eclosión fue evaluada entre las 10 y 12 HPF determinándose como el porcentaje de embriones viables de por lo menos 100 huevos.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con un diseño factorial de 3x2 (tres densidades y dos tasas de alimentación) con tres repeticiones por tratamiento, para un total de 18 unidades experimentales. Para evaluar el desempeño reproductivo de los reproductores sometidos a los diferentes tratamientos, las variables como número de hembras maduras, índice de ovulación, número de ovocitos por gramo, diámetro ovocitario, fecundidad relativa, en el caso de las hembras, volumen seminal, concentración espermática, movilidad total y tiempo de activación en el caso de los machos; así como las tasas de fertilización y de eclosión fueron sometidas a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Test de Bartlett), luego se les aplicó un análisis de varianza de dos factores con nivel de confianza del 95%, para determinar el efecto de cada uno de los factores y su interacción. Cuando uno de los factores afectó significativamente a una de las variables estudiadas se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$) para determinar el mejor tratamiento. El índice de ovulación, tasa de fertilización, tasa de eclosión y movilidad total antes de ser sometidos fueron transformados mediante la función arcoseno. El análisis estadístico se realizó con ayuda de Minitab® Statistical Software (Minitab, versión 15, Usa).

RESULTADOS

Número de hembras maduras e índice de ovulación. El peso de las hembras maduras osciló entre 562,8 \pm 84,3 g (T3) y 769,3 \pm 93,4 g (T2); mientras que el número de hembras maduras varió entre 1,7 \pm 2,1 (T1) y 7,0 \pm 8,9 (T6), con un porcentaje de ovocitos maduros entre 81,5 \pm 4,8% (T3) y 95,3 \pm 4,2% (T4) y el índice de ovulación osciló entre 33,3 \pm 33,3 (T1) y 94,4 \pm 9,6 (T4) sin observarse efecto de los factores densidad, tasa de alimentación ni su interacción sobre estas variables ($p > 0,05$) (tabla 1).

Fecundidad relativa y diámetro de los ovocitos. El número de ovocitos por gramo varió entre 1336,4 \pm 16,1 (T5) y 1465,3 \pm 48,6 (T3), sin presentarse efecto de los factores evaluados ni su interacción sobre esta variable ($p > 0,05$). La fecundidad relativa y el

diámetro de los ovocitos no fueron afectados por la tasa de alimentación por sí sola, ni su interacción ($p>0,05$); sin embargo, el factor densidad independientemente afectó estas variables ($p<0,05$), observándose los mejores resultados de fecundidad relativa a $0,5 \text{ pez/m}^2$ ($86,2\pm 9,1 \text{ g/Kg}$) y para el diámetro de los ovocitos a 1 pez/m^2 ($1,84\pm 0,05 \text{ mm}$) (tabla 1)

Tasa de fertilización y eclosión. La tasa de fertilización no fue afectada por la tasa de alimentación independientemente, ni su interacción ($p>0,05$); pero sí se observó efecto de la densidad sobre esta variable ($p<0,05$), presentándose los mejores resultados a $0,5 \text{ pez/m}^2$ ($21,3\pm 17,3\%$) (tabla 1). La tasa de eclosión varió entre $6,0\pm 10,9\%$ (T6) y $22,9\pm 31,3\%$ (T3), sin observarse efecto significativo de los factores densidad y tasa de alimentación ni su interacción ($p>0,05$) (tabla 1).

Tabla 1. Valores promedios (\pm desviación estándar) del desempeño reproductivo de hembras de bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* sometidos a tres densidades de siembra ($0,25$, $0,5$ y 1 pez/m^2) y dos tasas de alimentación (3 y 1%). El asterisco (*) indica diferencia significativa ($p<0,05$). ns, no significativa ($p>0,05$). Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($p<0,05$).

Tasa de Alimentación (%) (Factor A) Densidad (pez/m ²) (Factor B)	1			3			Anova (p<0,05)		
	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1	A	B	AxB
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Peso hembras maduras (g)	756,8 \pm 118,8	769,3 \pm 93,4	562,8 \pm 84,3	710,7 \pm 106,6	612,0 \pm 8,0	653,8 \pm 106,4	-	-	-
Hembras maduras (n)	1,7 \pm 2,1	6,3 \pm 2,5	7,0 \pm 3,0	2,7 \pm 2,1	5,3 \pm 6,1	7,0 \pm 8,9	ns	ns	ns
Ovocitos maduros (%)	86,5 \pm 3,7	83,4 \pm 13,0	81,5 \pm 4,8	95,3 \pm 4,2	86,4 \pm 3,9	83,1 \pm 6,2	ns	ns	ns
Índice de ovulación (%)	33,3 \pm 33,3	73,3 \pm 30,6	75,8 \pm 9,5	94,4 \pm 9,6	62,5 \pm 53,0	84,3 \pm 19,5	ns	ns	ns
Fecundidad relativa (g/Kg)	24,8 \pm 8,6	92,6 \pm 28,8	76,4 \pm 2,0	75,8 \pm 30,9	79,7 \pm 27,7	88,5 \pm 17,2	ns	*	ns
Número de ovocitos/g	1389,1 \pm 30,1	1359,4 \pm 40,3	1465,3 \pm 48,6	1403,3 \pm 55,8	1336,4 \pm 16,1	1347,2 \pm 76,1	ns	ns	ns
Diámetro de ovocitos (mm)	1,70 \pm 0,06	1,73 \pm 0,07	1,80 \pm 0,01	1,65 \pm 0,06	1,82 \pm 0,01	1,87 \pm 0,08	ns	*	ns
Tasa de fertilización (%)	11,8 \pm 3,8	33,5 \pm 16,7	30,3 \pm 2,4	25,6 \pm 15,1	9,0 \pm 7,0 ^c	16,4 \pm 4,3	ns	*	ns
Tasa de eclosión (%)	11,4 \pm 22,8	20,0 \pm 20,5	22,9 \pm 31,3	11,3 \pm 17,8	6,0 \pm 10,9	7,1 \pm 6,6	ns	ns	ns

Machos maduros. El peso promedio de los machos maduros osciló entre $341,5\pm 28,5 \text{ g}$ (T1) y $608,7\pm 32,4 \text{ g}$ (T5). El número promedio de machos maduros varió entre $0,7\pm 0,6$ (T1) y $13,5\pm 8,5$ (T6), sin observarse efecto entre los factores tasa de alimentación y densidad, ni su interacción ($p>0,05$) (tabla 2).

Volumen seminal, concentración espermática, movilidad total y tiempo de activación. El volumen seminal varió entre $0,5\pm 0,3 \text{ mL}$ (T5) y $1,0\pm 0,5 \text{ mL}$ (T2) sin observarse efecto de los factores sobre esta variable, ni la interacción ($p>0,05$) (tabla 2).

La concentración espermática, movilidad total y tiempo de activación no fueron afectados por la tasa de alimentación por sí sola, ni su interacción ($p>0,05$), sin embargo, el factor densidad independientemente afectó a estas variables ($p<0,05$), presentándose los mejores resultados de concentración a $0,25 \text{ pez/m}^2$

(26494,45±8084,0x10⁶ spz/mL), movilidad total a 1 pez/m² (97,0±1,3%) y tiempo de activación a 0,5 pez/m² (43,2±3,2 seg) (tabla 2).

Tabla 2. Valores promedios (±desviación estándar) del desempeño reproductivo de machos de bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* sometidos a tres densidades de siembra (0,25, 0,5 y 1 pez/m²) y dos tasas de alimentación (3 y 1%). El asterisco (*) indica diferencia significativa (p<0,05). ns, no significativa (p>0,05). Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (p<0,05).

Tasa de alimentación (%) (Factor A) Densidad (pez/m ²) (Factor B)							Anova P<0,05		
	1			3			A	B	AxB
	0,25 T1	0,5 T2	1 T3	0,25 T4	0,5 T5	1 T6			
Peso machos (g)	341,5±28,5	563,9±93,6	365,3±53,2	441,6±24	608,7±32,4	483,8±33,3	-	-	-
Machos maduros (n)	0,7±0,6	2,7±1,5	5,0±1,0	1,3±1,5	1,0±1,0	13,5±8,5	ns	ns	ns
Volumen seminal (mL)	0,6±0,2	1,0±0,5	0,7±0,3	0,5±0,3	0,5±0,3	0,8±0,1	ns	ns	ns
Concentración espermática (x10 ⁶ spz/mL)	20778,2± 927,9 ^b	13328,4± 1099,5 ^b	16638,3± 7741,9 ^b	32210,7± 9972,8 ^a	19897,8± 6569,3 ^b	15369,4± 2232,5 ^b	ns	*	ns
Movilidad total (%)	93,1±3,1 ^{ab}	85,3±11,0 ^b	97,9±0,4 ^a	97,2±1,4 ^a	-	96,1±1,7 ^{ab}	ns	*	ns
Tiempo de activación (seg)	36,5±3,5 ^b	43,2±3,2 ^a	41,5±1,3 ^a	38,4±3,4 ^{ab}	-	43,0±0,3 ^a	ns	*	ns

DISCUSIÓN

En este estudio, tanto para hembras como para machos de bagre blanco, las tasas de alimentación al 1 y 3% de la biomasa total a las densidades de siembra evaluadas (0,25, 0,5 y 1 pez/m²) y su interacción no afectaron variables como número de hembras maduras (1,7±2,1 y 7,0±8,9), porcentaje de ovocitos maduros (81,5±4,8% y 95,3±4,2%), índice de ovulación (33,3±33,3% y 94,4±9,6%) y número de ovocitos por gramo (1336,4±16,1 y 1465,3±48,6). En los machos no fueron afectadas variables como machos maduros (0,7±0,6 y 13,5±8,5) y volumen seminal (0,5±0,3 mL y 1,0±0,5 mL), tampoco se afectó la tasa de eclosión (6,0-22,9%). Por otra parte la tasa de alimentación, bien sea a 1 o 3% de la biomasa total no afectó las variables con las cuales se midió el desempeño reproductivo (número de hembras y machos maduros, índice de ovulación, fecundidad relativa, número de ovocitos por gramo, diámetro ovocitario, volumen seminal, tiempo de activación, concentración espermática, tasa de fertilización y tasa de eclosión). Arias-Castellanos et al. [15], aseguraron que una restricción de la tasa de alimentación de 3% de la biomasa a 1,5%, cuatro meses antes de la inducción, no disminuyó el desempeño reproductivo de hembras de yamú *Brycon siebenthalae* = *B. amazonicus*. Igualmente, otros estudios en *Brycon amazonicus* sugieren que la restricción de alimento no afectó el desempeño reproductivo y la supervivencia de las larvas [16, 17]. Sin embargo, algunos estudios como el de Carvalho [18] han observado que una restricción de la tasa de alimentación, mejoró el metabolismo energético y la maduración gonadal de *Brycon amazonicus*, sugiriendo

que ante situaciones de escasez de alimento el animal es capaz de mejorar su desempeño reproductivo. También se ha observado en otras especies especialmente salmónidos, que las hembras son más sensibles a las restricciones en las tasa de alimentación, debido al aumento de la energía que ocurre durante el proceso reproductivo. Duston & Saunders [19] corroboraron este hecho en *Salmo salar*. Silverstein & Shimma [20] afirmaron que una restricción de 50% durante seis meses antes del periodo de desove, redujo el porcentaje de hembras maduras de *Oncorhynchus masou*, pero este efecto no lo observaron en los machos.

Entonces, los niveles de la tasa de alimentación (1 y 3% de la biomasa total) no afectaron el desempeño reproductivo ni de los machos ni de las hembras; sin embargo el factor densidad independiente afectó el desempeño reproductivo, encontrándose los mejores resultados cuando la densidad estuvo por debajo de 1 pez/m². La densidad por sí sola, en las hembras, afectó la fecundidad relativa, el diámetro ovocitario y la tasa de fertilización, registrándose las mejores fecundidades y tasas de fertilización a densidad de 0,5 pez/m² (86,2±9,1 g/kg y 21,3±17,3%, respectivamente), y el mayor diámetro ovocitario a 1 pez/m² (1,84±0,05 mm), sin ser afectadas por la tasa de alimentación independientemente ni su interacción. Getinet et al. [21] al evaluar el efecto de la densidad poblacional en el desempeño reproductivo de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* encontraron que a baja densidad (3 peces/m²) se presentan las mejores fecundidades. Sehgal & Toor [22], evaluando el efecto de diferentes densidades en la maduración ovárica de la carpa común, afirmaron que su cultivo a bajas densidades de siembra (0,25 y 0,5 pez/m²) resultó en una temprana maduración ovárica; lo cual no fue observado en el presente estudio. Gamal et al. [23] en un cultivo de bagre africano *Clarias gariepinus*, en tanques en concreto a diferentes densidades, encontraron que los mayores índices de ovulación se presentaron a bajas densidades (2 y 4 parejas con 83,3% y 58,3% respectivamente). Getinet et al. [21], afirmaron que la densidad no afectó la tasa de fertilización, eclosión ni el diámetro ovocitario; sin embargo en el presente estudio la densidad si afectó la tasa de fertilización y el diámetro ovocitario. James [24], en un estudio sobre el efecto de la densidad de siembra en la fertilidad de peces ornamentales *Xiphophorus helleri*, encontraron que un aumento en la densidad de población redujo la fecundidad en esta especie; efecto que no fue observado en las densidad evaluadas en el presente estudio. Para el caso de los machos, la concentración espermática, movilidad y tiempo de activación fueron afectadas por la densidad de siembra, presentándose los mayores valores de concentración espermática y tiempo de activación a densidades de 0,25 pez/m² (26494,5±8084.0x10⁶ spz/mL) y 0,5 pez/m² (43,2±3,2 seg) respectivamente, mientras la movilidad total a densidad de 1 pez/m² (97,0±1,3%); sin embargo, no fueron afectadas por la tasa de alimentación, ni por la interacción. Son pocos los estudios realizados evaluando el efecto de las condiciones de cultivo sobre las características seminales de esta especie; sin embargo, Araujo & Codero [25], evaluaron las principales características seminales del blanquillo inducido hormonalmente con Ovaprim®, encontrando valores promedio de volumen seminal (1,7±0,9 mL), tiempo de activación (128,1±33,5 seg), concentración espermática (22000±12000x10⁶ spz/mL) y movilidad (86,0±10,9%), similares a los reportados en este estudio, a excepción del tiempo de activación; sugiriéndose que la diferencia en el tiempo de activación puede ser explicada por los métodos utilizados en la evaluación de esta variable. Así mismo Reza & Salas [26], en un estudio de crioconservación de semen de bagre blanco, encontraron valores de volumen seminal

($1,6 \pm 0,4$ mL), concentración ($24718,3 \pm 1849,4 \times 10^6$ spz/mL), tiempo de activación ($41,0 \pm 4,0$ seg) y movilidad total ($98,4 \pm 0,2$ %) similares a los reportados en este estudio. Ferreira et al. [25] evaluando la calidad seminal del *Rhamdia quelen* reportaron valores inferiores de volumen seminal ($0,41 \pm 0,37$ mL), movilidad total ($73,0 \pm 75,0$ %) y concentración espermática ($69,9 \pm 37,7 \times 10^6$ spz/mL) a los obtenidos en este trabajo. Por otro lado, Berg et al. [28] evaluando el efecto de diferentes densidades de siembra (20, 30 y 40 Kg/m³) en la maduración sexual del salmón del Atlántico *Salmo salar*, reportaron que el mayor porcentaje de machos maduros (25%) se encontraron a la más baja densidad. Según Chaparro [29] y Landines [30], densidades entre 250 a 300 g/m² son adecuadas para el manejo de reproductores de las especies reofílicas con importancia en la piscicultura; estos autores consideraron que densidades mayores pueden causar un efecto negativo en el desarrollo gonadal; sin embargo Baldisserotto [9], reportó densidades de siembra para manejo reproductivo en Cachama negra *Colossoma macropomum* entre 50 y 300g/m² y para Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) entre 50 y 700g/m²; así mismo Franco [31] para el manejo de reproductores de Pirarucú *Arapaimas gigas* asegura que densidades entre 144 y 188 g/m² son adecuadas para la reproducción de esta especie en cautiverio. En el presente estudio la densidad de manejo de reproductores que resultó más adecuada y más eficientes en el manejo del espacio osciló entre 0.5 y 1 pez/m², considerando la biomasa total de los reproductores, correspondió a 308 y 556 g/m², la cual se encuentra por encima de límite superior establecido por Chaparro [32] y Landines [33]; pero dentro de lo sugerido por Baldisserotto [34]. Una menor densidad ($0,25$ pez/m²=141 g/m²), conduciría a una utilización inadecuada de las áreas de los estanques.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten sugerir que una densidad entre 0.5 (308 g/m²) y 1 pez/m² (556 g/m²) y una tasa de alimentación de por lo menos 1% de la biomasa total, complementada con peces forrajeros, son adecuados para el manejo de reproductores de bagre blanco en cautiverio obteniéndose un buen desempeño reproductivo en las inducciones hormonales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación de la presente investigación en el marco del proyecto Contribución al desarrollo de una tecnología de producción continúa de alevinos de bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* como estrategia para fomentar su cultivo y conservación (Código MADR N° 012-2007U7723400-07).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Senhorini JA, Landines MA. Generalidades sobre manejo y selección de reproductores de peces reofilicos En: Victoria P, Landinez MA, Sanabria AI. Reproducción de peces en el trópico. INCODER/Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2005; 79-90.
2. Izquierdo M, Fernández-Palacios H, Tacon A. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture* 2001; 197:25-42.
3. Harvey B, Carolsfeld J. Induced breeding in tropical fish culture. IDRC, Ottawa, 1993.
4. Zaniboni-Filho E, Nuñez A. Fisiología da reprodução e propagação artificial dos peixes. En: Cyrino J, Urbinati E, Fracalossi D, Castagnolli N. (Eds.). *Temas especiais em piscicultura de agua doce tropical intensiva*. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2004; p45-73.
5. Schreck CB, Contreras-Sánchez W, Fitzpatrick MS. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality and progeny. *Aquaculture* 2001; 197:3-24.
6. Woynarovich E, Horváth L. A propagação artificial de peixes de águas tropicais: manual de extensão. FAO/CODEVASF/CNPq, Brasília, 1983.
7. Chaparro N. Reproducción artificial y manipulación genética en peces. Mejoras, Barranquilla, 1994.
8. Landines MA. Mecanismos celulares de la reproducción de los peces. En: Daza PV, Landines MA, Sanabria AI (Eds), *Reproducción de peces en el trópico*. INCODER, Bogotá, 2005.
9. Baldisserotto B. Fisiologia de peixes aplicada a piscicultura. 2ª ed. Santa Maria, UFSM, 2009.
Atencio-García V. Producción de alevinos de especies nativas. *MVZ Córdoba* 2001; 6(1):9-14.
10. Franco H. Evaluación de la densidad y alimentación en el desempeño reproductivo del pirarucú *Arapaima gigas* en cautiverio. [Tesis MSc]. Florencia, (Col), Universidad Nacional de Colombia; 2011.
11. Alcalá A, Ortega A. Influencia de la densidad de siembra y la alimentación en la larvicultura del bagre blanco (*Sorubim cuspicaudus*) [Trabajo de grado]. Montería, (Col), Universidad de Córdoba; 2002.
12. Atencio-García V. Producción de alevinos de especies nativas. *MVZ Córdoba* 2001; 6(1):9-14.

13. Muñoz R, Martínez C. Reproducción inducida del blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*, Littmann. Burr & Nass, 2000) con Ovaprim® [Trabajo de grado]. Montería, (Col), Universidad de Córdoba; 2003.
14. Argel E, Sánchez L. Conservación *in situ* y *ex situ* de ovocitos de bocachico *Prochilodus magdalenae* a diferentes temperaturas y periodos de almacenamiento [Trabajo de grado]. Montería, (Col), Universidad de Córdoba; 2008.
15. Arias Castellanos J, Zaniboni-Filho E, Pardo-Carrasco S, Vásquez-Torres W, Atencio-García V. Effect of food restriction in spawning of yamú females *Brycon siebenthalae* (Osteichthyes, Characidae). Acta Scientiarum 2005; 27(2):235-239.
16. Sanabria A. Efeito da restrição alimentar no desempenho reprodutivo de machos de matrinxã *Brycon cephalus*. [Tesis de Maestría]. Jaboticabal, (Brasil): Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2002.
17. Camargo A. Efeito da restrição alimentar alternada na maturação sexual de reprodutores e crescimento da prole do matrinxã *Brycon cephalus*. [Tesis, PhD en Zootecnia]. Jaboticabal (Brasil): Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2003.
18. Carvalho E. Redução na oferta de ração: Efeitos no metabolismo energético e na maturação gonadal do matrinxã (*Brycon cephalus* Teleostei: Characidae) em cativeiro. [Tesis]. Jaboticabal (Brasil), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2001.
19. Duston J, Saunders RL. Effect of winter food deprivation on growth and sexual maturity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999; (56):201-207.
20. Silverstein JT, Shimma H. Effect of restricted feeding on early maturation in female and male amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae*. J. Fish Biol 1994; 45:1133-1135.
21. Getinet GT, Amrit NB. Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture 2007; (272): 380-388.
22. Sehgal H, Toor H. Effect of stocking density on ovarian maturation, offspring fitness and growth of common carp. Aquaculture 1995; (129):113-117.
23. Gamal N, George J, Mahmoud R, Waheed E, Mohammed Y. Effect of varying density and water level on the spawning response of African catfish *Clarias gariepinus*: Implications for seed production. Aquaculture 2006; (261):904–907.

24. James R, Sampath K. Effect of stocking density on growth and fertility in the ornamental fish, *Xiphophorus helleri*. Indian Journal of Fisheries, 2003.
25. Araújo H, Cordero W, Atencio-García V. Evaluación de las características seminales del bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* Inducido con Ovaprim®. En Memorias: VII Simposio Colombiano de Ictiología. Montería, (Col), Universidad de Córdoba, 2003; p59.
26. Reza L, Salas J. Crioconservación de semen de bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* (Littmann, Burr & Nass 2000) con dimetilacetamida (DMA) y dimetilsulfóxido (DMSO) [Trabajo de grado]. Montería, (Col), Universidad de Córdoba; 2010.
27. Ferreira A, Nuñez A, Luz R, Tataje D, Esquivel J, Restrepo J. avaliação qualitativa e quantitativa do sêmen do jundiá, *Rhamdia quelen*. Boletim do Instituto de Pesca 2001; 27 (1): 57-60.
28. Berg AJ, Sigholt T, Seland A, Daniels Berg A. Effect of stocking density, oxygen level, light regime and swimming velocity on the incidence of sexual maturation in adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) Aquaculture 1996; (143):43-59.
29. Chaparro N. Reproducción artificial y manipulación genética en peces. Mejoras, Barranquilla, 1994.
30. Landines MA. Mecanismos celulares de la reproducción de los peces. En: Daza PV, Landines MA, Sanabria AI (Eds), Reproducción de peces en el trópico. INCODER, Bogotá, 2005.
31. Franco H. Evaluación de la densidad y alimentación en el desempeño reproductivo del pirarucú *Arapaima gigas* en cautiverio. [Tesis MSc]. Florencia, (Col), Universidad Nacional de Colombia; 2011.
32. Chaparro N. Reproducción artificial y manipulación genética en peces. Mejoras, Barranquilla, 1994.
33. Landines MA. Mecanismos celulares de la reproducción de los peces. En: Daza PV, Landines MA, Sanabria AI (Eds), Reproducción de peces en el trópico. INCODER, Bogotá, 2005.
34. Baldisserotto B. Fisiología de peixes aplicada a piscicultura. 2ª ed. Santa Maria, UFSM, 2009.
Atencio-García V. Producción de alevinos de especies nativas. MVZ Córdoba 2001; 6(1):9-14.