

## Importance of male gafftopsail catfish, *Bagre marinus* (Pisces: Ariidae), in the reproductive process

### La importancia de los machos del bagre bandera, *Bagre marinus* (Pisces: Ariidae), en el proceso reproductivo

Elsy Consuelo Segura-Berttolini<sup>1,2</sup>, Manuel Mendoza-Carranza<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Villahermosa, Sistemas de Producción Alternativos: Pesquerías Artesanales, Km 15.5 carretera a Reforma A. Guineo 2ª sección s/n, Villahermosa 86280, Tabasco, México.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Superior de los Ríos. Departamento Académico de Ingeniería Ambiental Km. 3 Carretera Balancán-Villahermosa, Balancán, Tabasco, México

\* Corresponding author. E-mail: mcarranza@ecosur.mx

**ABSTRACT.** The objective of this research was to analyze the role of male gafftopsail catfish, *Bagre marinus*, in the reproductive process. Twelve monthly samples of male *B. marinus* were obtained from the small-scale longline fleet operating out of the port of San Pedro in Tabasco, Mexico. Mouthbrooding males were also obtained from the illegal purse seine fishery targeting shoals of *B. marinus* at the mouth of the Grijalva River. Maximum reproductive activity in *B. marinus* (July to August) was evinced by the high gonadosomatic index values in June ( $0.16 \pm 0.04$ , CI 95%), July ( $0.31 \pm 0.03$ ), and August ( $0.19 \pm 0.02$ ), by the high frequency of mature males (more than 40%) caught by the bottom-longline fleet between June and August, and by the presence of shoals of mouthbrooding males at the mouth of the Grijalva River from June to August. The eggs incubated by male *B. marinus* ranged from 1.4 to 1.9 cm in diameter, 1.9 cm being the most frequent (64.8%). Mouthbrooding males ranged from 36.2 to 44.0 cm total length and could carry from 17 to 40 eggs of 1.9 cm diameter. The reproductive strategy of mouthbrooding gives *B. marinus* survival advantages in a marine-estuarine environment; however, this strategy also represents a severe risk because shoals of mouthbrooding males are traceable by fishermen, resulting in high mortalities and, consequently, a high loss of eggs and embryos.

**Key words:** reproductive strategy, mouthbrooding, estuary, artisanal fisheries.

**RESUMEN.** El objetivo de este trabajo fue analizar el papel que juegan los machos de bagre bandera, *Bagre marinus*, en el proceso reproductivo. Los machos de *B. marinus* analizados provinieron de 12 muestreos mensuales obtenidos de la flota palangrera de pequeña escala del puerto de San Pedro, Tabasco (México), y de un muestreo puntual de la pesca clandestina con redes de cerco sobre cardúmenes reproductivos en la desembocadura del río Grijalva. El pico del proceso reproductivo de *B. marinus* (de julio a agosto) estuvo indicado por los altos valores del índice gonadosomático en junio ( $0.16 \pm 0.04$ , IC 95%), julio ( $0.31 \pm 0.03$ ) y agosto ( $0.19 \pm 0.02$ ), por las altas frecuencias del estadio de madurez gonádica avanzado en julio (48%) y agosto (45%) y por la presencia de cardúmenes de machos incubadores en la desembocadura del río Grijalva de junio a agosto. Los huevos incubados por los machos de *B. marinus* midieron de 1.4 a 1.9 cm de diámetro, siendo 1.9 cm el tamaño más frecuente (64.8%). Los machos incubadores capturados midieron entre 36.2 y 44.0 cm de longitud total y pudieron acarrear entre 17 y 40 huevos de 1.9 cm de diámetro. La táctica reproductiva de incubación oral en esta especie incrementa la supervivencia de los pequeños juveniles en el medio marino-estuarino; sin embargo, esta táctica ha hecho que los machos incubadores sean más susceptible a los efectos de la pesca, especialmente a la pesca con redes de cerco que se extiende durante todo el periodo reproductivo, produciendo una elevada mortandad de machos incubadores y la consecuente muerte de huevos y juveniles.

**Palabras clave:** estrategia reproductiva, incubación oral, estuario, pesca artesanal.

## INTRODUCTION

Large estuarine systems are located in the southern Gulf of Mexico. These systems, together with Campeche Bank, provide ideal conditions for sustaining a high biological diversity and are important feeding, growth, and breeding areas for many commercially important species (Lara-Lara *et al.* 2008). In particular, the characteristics of the coastal zone of the state of Tabasco (Mexico), dominated by the Grijalva-Usumacinta delta system, favor high abundances of

## INTRODUCCIÓN

La zona sur del golfo de México alberga zonas estuarinas importantes. Estas zonas, junto con el banco de Campeche, proporcionan características idóneas para el sostenimiento de una alta diversidad biológica y son importantes zonas de crecimiento, alimentación y reproducción de una alta diversidad de especies de importancia comercial (Lara-Lara *et al.* 2008). En particular, la zona costera de Tabasco (México), dominada por el sistema deltaico Grijalva-Usumacinta, presenta

fishery resources, among them the gafftopsail catfish, *Bagre marinus* (Mitchill 1815). This species is targeted by two important fisheries: small-scale coastal multispecies fishing using bottom longlines throughout the year and illegal purse seine fishing during the breeding season (June to August). *Bagre marinus* plays a key role in Tabasco's fishery economy, contributing 44% to the state's total production, and its sustainable use thus requires relevant biological and ecological information (Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005, CONAPESCA 2010). Most fishery conservation studies and strategies tend to focus on the females as they usually play the main role in the reproductive process (Trippel 2003); however, males of the sea catfish family Ariidae play a major role in the reproductive process as they care for their fertilized eggs and fry until complete absorption of the yolk sac by holding them in their mouths (Gomes and Araújo 2004), a strategy known as oral incubation or mouthbrooding. It is therefore important to consider them in studies addressing the reproductive potential of the species and when formulating conservation measures (Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005).

In the last two decades, *B. marinus* has been the most abundant species in the landings of Tabasco's small-scale coastal fisheries and is captured year-round (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Moreover, mouthbrooding males are caught using purse seines between June and September, during the oral incubation period (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza 2003, Acero *et al.* 2005). Nonetheless, despite its high economic value and the crucial role males play in sustaining the species, specific studies are lacking. The objective of this study was to assess the importance of male *B. marinus* in the reproductive process. Individuals caught by two fishing gears (bottom longlines offshore and purse seines in the estuarine area) were analyzed and the possible effects of fishing on the role of males in the reproductive process are discussed.

## MATERIAL AND METHODS

A GPS was used to delimit the fishing ground during a run along the perimeter of the area covered by the small-scale fleets from the ports of San Pedro and Frontera (Tabasco, Mexico). The fishing area extends approximately 70 km along the coast of the municipalities of Centla (Tabasco) and Carmen (Campeche) (polygon, fig. 1). The southern part of the polygon is delimited by the 10-m isobath and the northern part by the 38-m isobath approximately 48 km off the coast. The total fishing area extends 3058 km<sup>2</sup> over Campeche Bank (fig. 1). In this area the species is captured throughout the year with bottom longlines.

Biological and morphometric data were taken from 537 individuals of *B. marinus*, 193 of them males, obtained monthly (January to December 2004) from the small-scale longline fleet operating out of the port of San Pedro, Centla, Tabasco. Total length (TL, cm), total weight (TW, g), and sex

características que permiten una alta abundancia de recursos pesqueros, dentro de los cuales destaca por su abundancia el bagre bandera, *Bagre marinus* (Mitchill 1815). Esta especie es el objetivo de dos pesquerías importantes: la pesca costera multispecífica a pequeña escala realizada con palangre de fondo, durante todo el año, y la pesca clandestina con redes de cerco durante su época reproductiva (junio a agosto). *Bagre marinus* es pieza clave de la economía pesquera del estado de Tabasco, pues aporta el 44% de la producción total estatal; por tanto, es necesario proporcionar los conocimientos biológicos y ecológicos para su uso sustentable (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti 2005, CONAPESCA 2010). La mayoría de estudios y estrategias de conservación pesquera se centran en el aporte que tienen las hembras, pues usualmente juegan el rol principal en el proceso reproductivo (Trippel 2003). Sin embargo, dentro de la familia Ariidae, los machos juegan un rol fundamental dentro del proceso reproductivo, pues se encargan del cuidado de huevos fecundados y crías hasta la absorción completa del saco vitelino a través de la incubación oral (Gomes y Araújo 2004). Es por esto que resulta de gran importancia incluirlos en los estudios del potencial reproductivo de la especie, así como en los esquemas de conservación (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti 2005).

En las últimas dos décadas, *B. marinus* ha sido la especie más abundante en las capturas de la flota pesquera de pequeña escala de Tabasco y es capturada durante todo el año (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Además, los machos incubadores son capturados con redes de cerco entre junio y septiembre, durante el periodo de incubación orofaríngea (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza 2003, Acero *et al.* 2005). A pesar de la elevada importancia económica de *B. marinus* y del sobresaliente rol que juegan los machos en el sostenimiento de la especie, no hay estudios específicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la importancia que tienen los machos de *B. marinus* en el proceso reproductivo. Se analizaron los individuos provenientes de dos tipos de pesca (palangre de fondo en la zona marina y redes de cerco en la zona estuarina) y se discuten los posibles efectos de la pesca sobre el rol de los machos en el proceso reproductivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de pesca se delimitó con un GPS durante un recorrido por el perímetro del área cubierta por los pescadores. El área de pesca de la flota palangrera de pequeña escala de los puertos de San Pedro y Frontera se extiende aproximadamente 70 km a lo largo de la costa de los municipios de Centla (Tabasco) y Carmen (Campeche) (polígono, fig. 1). La parte sur del polígono se encuentra delimitada por la isobata de los 10 m y la parte norte por la isobata de los 38 m aproximadamente a 48 km de la costa. El área total de pesca comprende 3058 km<sup>2</sup> sobre el banco de Campeche (fig. 1). En esta área la especie es capturada durante todo el año con palangre de fondo.

were determined for each individual. The macroscopic gonad maturation stages in males were classified according to the scale for total spawners proposed by Vazzoler (1996) and identified based on the following characteristics of the gonad: color, length (cm), weight (g), turgor, vascularity, presence of crests in the periphery, and seminal fluid.

The size (TL) frequency distribution of males caught by the longline fleet was analyzed. The relationship between TL and TW was calculated using the potential equation

$$TW = (a \times TL)^b \quad (1)$$

where  $a$  is the intercept and  $b$  is the growth coefficient. The regression and confidence interval for the regression were calculated by interactive linear regression analysis based on the Levenberg-Marquardt algorithm. Student's  $t$ -test (Sokal and Rohlf 1995) was performed to test whether  $b$  was different from 3. The monthly gonadosomatic index (GSI) was calculated using the formula

$$GSI = \frac{GW}{TW} \times 100 \quad (2)$$

where GW is the gonad weight. The monthly condition factor (K) was calculated as follows:

$$K = 100 \times \left(\frac{TW}{TL}\right)^b \quad (3)$$

where  $b$  is the coefficient obtained from the TL-TW regression (Froese 2006).

To calculate the egg carrying capacity, 13 mouthbrooding males were collected during a one-day sampling survey in September 2007 at the mouth of the Grijalva River (18°36'52" N, 92°41'35" W; 18°36'10" N, 92°41'55" W). As these individuals are fished illegally, it was not possible to have a larger sample size. The total number of eggs found in the buccal cavity of each male was quantified. The diameter (cm) of each egg and TL of each male were measured. The gonadal maturity of each individual was determined; gonads were weighed on an electronic balance (precision of 0.01 g). Water temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, conductivity, and transparency were measured at the beginning and end of the survey.

The stress generated in males by the capture process induces them to release part or all of the incubated eggs, so direct egg counts are not reliable for estimating egg carrying capacity. To estimate egg carrying capacity relative to male size, the three-dimensional ellipsoid (volume =  $4/3 \pi abc$ ) was assumed to be the geometric shape that most resembled the oropharyngeal cavity of *B. marinus* (fig. 2). A vernier caliper was used to measure the depth ( $a$ ), height ( $b$ ), and width ( $c$ ) of the oropharyngeal cavity to obtain the volume (VOC, cm<sup>3</sup>) (fig. 2). Note that during the incubation process, the hyoid

Se recolectaron datos biológicos y morfométricos de 537 individuos de *B. marinus*, de los cuales 193 fueron machos, provenientes de muestreos mensuales (enero a diciembre de 2004) de la flota marina de pequeña escala del puerto de San Pedro, Centla, Tabasco. Para cada individuo, se determinó el sexo, peso total (PT, g) y longitud total (LT, cm). Las etapas macroscópicas de madurez gonádica de los machos de *B. marinus* se clasificaron según la escala de madurez para desovantes totales propuesta por Vazzoler (1996) y se identificaron con base en las siguientes características de la gónada: color, longitud (cm), peso (g), turgencia, vascularización, presencia de crestas en la periferia y líquido seminal.

Se analizó la distribución de frecuencias de tallas (LT) de los machos capturados por la flota palangrera. Se calculó la relación entre LT y PT mediante la ecuación potencial

$$PT = (a \times LT)^b \quad (1)$$

donde  $a$  es el intercepto y  $b$  es el coeficiente de crecimiento. La regresión y el intervalo de confianza de la regresión se calcularon por medio del análisis interactivo de regresión lineal basado en el algoritmo de Levenberg-Marquardt. Para probar si  $b$  era diferente de 3, se realizó la prueba  $t$  de Student (Sokal y Rohlf, 1995). El índice gonadosomático (IGS) mensual se calculó con la fórmula

$$IGS = \frac{PG}{PT} \times 100 \quad (2)$$

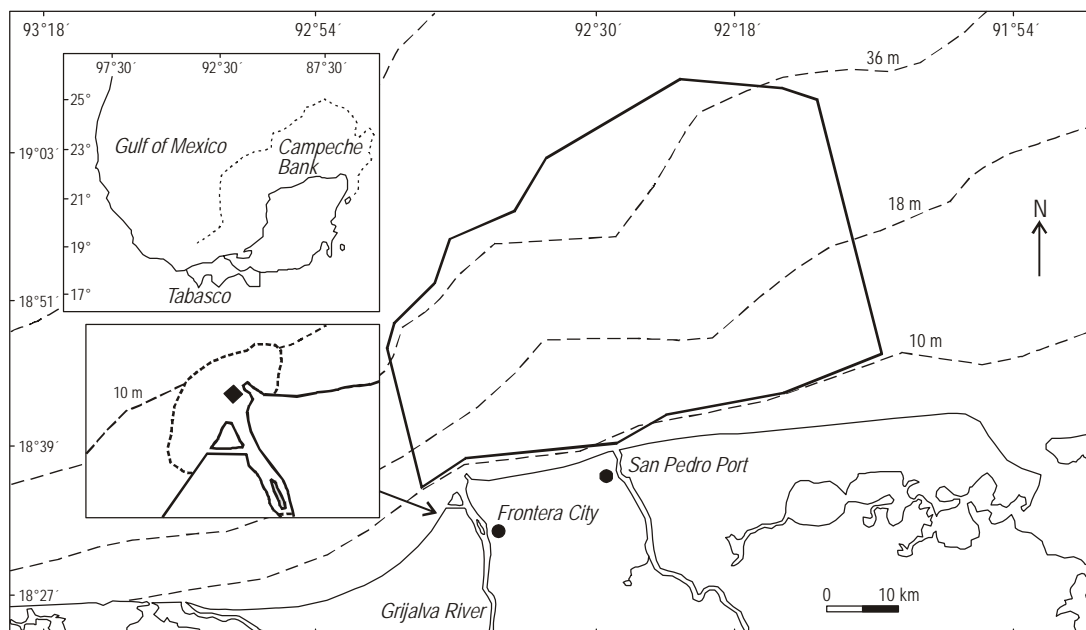
donde PG es el peso del testículo. El factor de condición (K) mensual se calculó con la fórmula

$$K = 100 \times \left(\frac{PT}{LT}\right)^b \quad (3)$$

donde  $b$  es el coeficiente obtenido de la regresión LT-PT (Froese 2006).

Para el cálculo de la capacidad de incubación oral, se recolectaron 13 bagres machos incubadores durante un muestreo de un día en septiembre de 2007 en la desembocadura del río Grijalva (18°36'52" N, 92°41'35" W y 18°36'10" N 92°41'55" W). Debido a que la pesca de estos individuos es clandestina, no fue posible obtener una muestra de mayor tamaño. Se contó el número total de huevos encontrados en la cavidad oral de cada macho. Adicionalmente, se midieron el diámetro (cm) de cada huevo y la LT de cada macho. Se determinó la madurez gonádica; las gónadas se pesaron con una balanza electrónica (0.01 g de precisión). La transparencia, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, la conductividad y el pH del agua se obtuvieron al inicio y al final del muestreo.

El estrés generado en los machos por el proceso de captura los induce a liberar parte o todos los huevos que incuban; por tanto, el conteo directo de los huevos es poco confiable



**Figure 1.** Hot spots for *Bagre marinus* fishing off Tabasco, Mexico. The continuous-line polygon indicates the fishing area of the small-scale longline fleet. The polygon in the lower inset indicates the area where shoals of mouthbrooding males are fished with purse seines; the rhombus indicates the sampling point for mouthbrooding males.

**Figura 1.** Áreas críticas de pesca de *Bagre marinus* frente a Tabasco, México. El polígono con línea continua indica el área de pesca de la flota palangrera de pequeña escala. El polígono en el cuadro inferior izquierdo corresponde al área de pesca con red de cerco sobre cardúmenes de machos en proceso de incubación; el rombo indica el punto de muestreo de machos incubadores.

region expands to increase carrying capacity (Burns and Ramírez 1990, Palazón *et al.* 1994). The volume ( $V$ ,  $\text{cm}^3$ ) of each egg was calculated:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (4)$$

where  $R$  is the egg radius (cm).

Linear regression was used to express the relation between the size of the mouthbrooding males and the volume of the oropharyngeal cavity (TL-VOC). The theoretical number of eggs a male can incubate was determined by dividing VOC by  $V$ . To determine the period when the shoals of mouthbrooding males of *B. marinus* are sighted, 3 licensees and 15 fishermen from Barra Bosque were informally interviewed.

## RESULTS

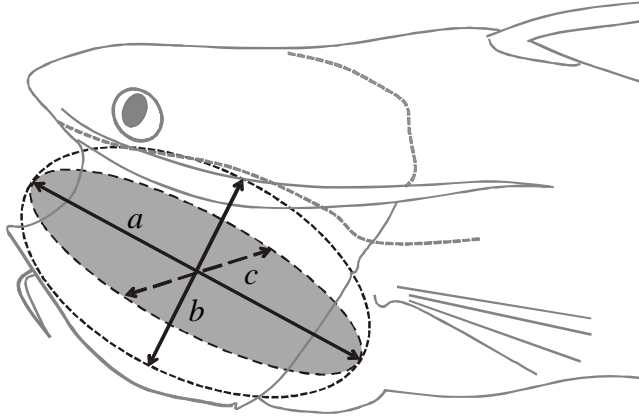
The minimum and maximum sizes of male *B. marinus* caught by the longline fleet were 31 and 60 cm TL, respectively. The size-frequency distribution of the males was poly-modal, with two isolated modes at 35 and 49 cm TL (4.1% and 3.9%, respectively), and the range of sizes with the highest frequency was 37–43 cm TL (63.70%, fig. 3). Mean size was  $43.58 \pm 0.73$  cm, 95% confidence interval (CI). The

para estimar la capacidad de carga de huevos que pueden incubar. Para estimar la capacidad de carga de huevos con relación a la talla de los machos, se supuso que la elipse tridimensional (volumen =  $4/3 \pi abc$ ) es el cuerpo geométrico que más se acerca a la forma de la cavidad orofaríngea de *B. marinus* (fig. 2). La profundidad ( $a$ ), la altura ( $b$ ) y el ancho ( $c$ ) de la cavidad orofaríngea se midieron con un vernier para obtener el volumen (VCO,  $\text{cm}^3$ ) (fig. 2). Cabe mencionar que durante el proceso de incubación, la región hioidea se distiende para dar una mayor capacidad de acarreo (Burns y Ramírez 1990, Palazón *et al.* 1994). Se calculó el volumen ( $V$ ,  $\text{cm}^3$ ) de cada huevo:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (4)$$

donde  $R$  es el radio del huevo (cm).

La relación morfométrica entre el tamaño de los machos incubadores y el volumen de la cavidad orofaríngea (LT-VCO) se determinó mediante una regresión lineal. El número teórico de huevos de determinado tamaño que un macho puede acarrear se determinó por el producto de VCO entre  $V$ . Para determinar la temporada de avistamiento de cardúmenes de machos incubadores de *B. marinus*, se realizaron encuestas informales a 3 permisionarios y 15 pescadores de la Barra Bosque.

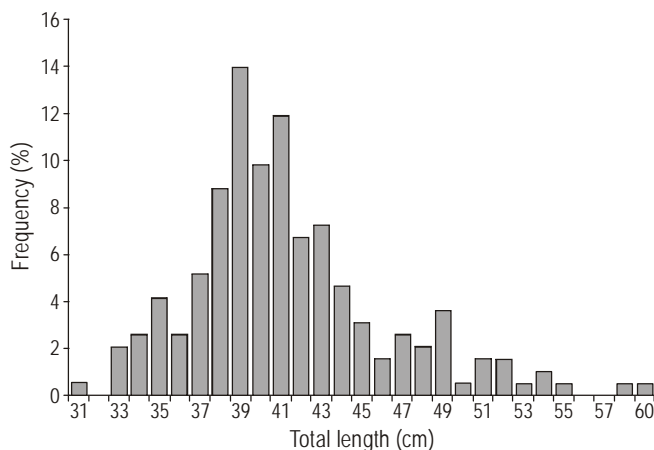


**Figure 2.** Elliptical representation of the oropharyngeal cavity (*a*, depth; *b*, height; *c*, width) of a mouthbrooding male gafftopsail catfish, *Bagre marinus*.

**Figura 2.** Representación elíptica de la cavidad orofaríngea (*a*, profundidad; *b*, altura; *c*, anchura) de un macho incubador de bagre bandera, *Bagre marinus*.

value of exponent *b* ( $3.22 \pm 0.90$ , 95% CI) of the TL-TW regression indicated that male *B. marinus* have positive allometric growth (fig. 4), this value being significantly different from 3 ( $t = 61.37$ ,  $P < 0.001$ ).

Based on the morphometric data of the gonads of male *B. marinus* caught by the small-scale longline fleet, three maturity stages were classified. In stage I (immature), testes are filiform, whitish-pink in color, and translucent; gonad length ranged from 4.8 to 9.2 cm and weight from 0.1 to 2.7 g. Stage I was observed in all the sampling months, with highest frequencies of occurrence in January (83%), April (67%), August (60%), and September (62%), and varying



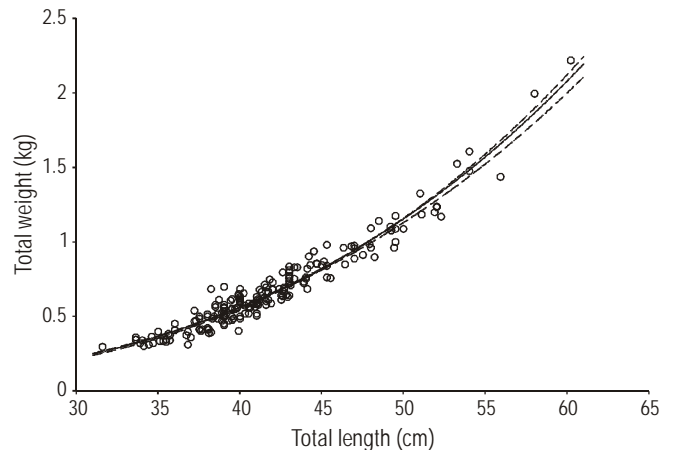
**Figure 3.** Size-frequency distribution of male *Bagre marinus* caught by the small-scale longline fleet from the port of San Pedro, Tabasco, Mexico.

**Figura 3.** Distribución de la frecuencia de tallas de los machos de *Bagre marinus* capturados por la flota palangrera de pequeña escala del puerto de San Pedro, Tabasco, México.

## RESULTADOS

La longitud mínima de los machos de *B. marinus* capturados por la flota palangrera fue de 31 cm LT y la máxima fue de 60 cm LT. La distribución de frecuencias de tallas de los machos fue polimodal, con dos modas aisladas a los 35 y 49 cm LT (4.1% y 3.9%, respectivamente), y el intervalo de tallas con la mayor frecuencia fue de 37 a 43 cm LT (63.70%, fig. 3). El promedio de tallas capturadas fue  $43.58 \pm 0.73$  cm, intervalo de confianza (IC) de 95%. El valor del exponente *b* ( $3.22 \pm 0.90$ , IC 95%) de la regresión LT-PT indicó que los machos de *B. marinus* tienen un crecimiento alométrico positivo (fig. 4), siendo este valor significativamente diferente de 3 ( $t = 61.37$ ,  $P < 0.001$ ).

Con base en los datos morfométricos de los testículos de los machos de *B. marinus* obtenidos de las capturas de la flota palangrera de pequeña escala, se clasificaron tres estadios de madurez. En el estadio I (en maduración), los testículos son filiformes, de coloración rosácea blanquecina y traslúcidos; la longitud de los testículos varió de 4.8 a 9.2 cm y el peso de 0.1 a 2.7 g. El estadio I se presentó en todos los meses de muestreo; las mayores frecuencias de ocurrencia se presentaron en enero (83%), abril (67%), agosto (60%) y septiembre (62%), y el resto de los meses oscilaron entre 10% (octubre) y 43% (julio) (fig. 5). En el estadio II (maduro), los testículos son delgados, de coloración blanquecina, tienen crestas en su periferia y presentan expulsión de semen a una ligera presión; la longitud de los testículos varió de 2.9 a 9.8 cm y el peso de 0.1 a 3.4 g. Las mayores frecuencias de ocurrencia se observaron en febrero (44%) y de mayo a agosto (valores mayores que 34%) (fig. 5). En el estadio III



**Figure 4.** Relationship between total length and total weight of male *Bagre marinus* caught by the small-scale longline fleet from the port of San Pedro, Tabasco, Mexico. Broken lines indicate a 95% confidence interval.

**Figura 4.** Relación entre la longitud total y el peso total de los machos de *Bagre marinus* capturados por la flota palangrera de pequeña escala del puerto de San Pedro, Tabasco, México. Las líneas punteadas indican un intervalo de confianza al 95%.

between 10% (October) and 43% (July) the remaining months (fig. 5). In stage II (mature), testes are thin, whitish, have crests in their periphery, and expel semen under light pressure; gonad length ranged from 2.9 to 9.8 cm and weight from 0.1 to 3.4 g. The frequency of occurrence was highest in February (44%) and from May to August (values over 34%) (fig. 5). In stage III (recovering), the testes are reduced to two filaments and have an intense red color due to abundant vascularity, and the crests have disappeared. Stage III occurred with higher frequency from October (69%) to December (61%) (fig. 5).

The GSI showed a marked increase in June ( $0.16 \pm 0.04$ , 95% CI), July ( $0.31 \pm 0.03$ , 95% CI), and August ( $0.19 \pm 0.02$ , 95% CI), indicating the breeding season of the species (fig. 6). The condition factor (K) showed an inverse trend, with low values from May to October and the highest values in March ( $0.031 \pm 0.003$ ) and December ( $0.029 \pm 0.002$ ) (fig. 6).

Mouthbrooding males ranged in size from 36 to 45 cm TL (mean size =  $39.9 \pm 1.54$  cm TL, 95% CI), and were in sexual maturity stage II (mean gonad weight =  $0.83 \pm 0.15$  g, 95% CI). Ten males had from 1 to 15 eggs in the buccal cavity (72 eggs in total), one male had two small juveniles (8.0 and 8.1 cm TL), and two males had neither eggs nor juveniles. The diameter of the incubated eggs ranged from 1.4 cm ( $V = 1.43$  cm<sup>3</sup>) to 1.9 cm ( $V = 3.59$  cm<sup>3</sup>). The most frequent diameter was 1.9 cm (64.8% of the total), followed by 1.8 cm (21.1%, fig. 7); 97% of the eggs had embryos in early stages of development.

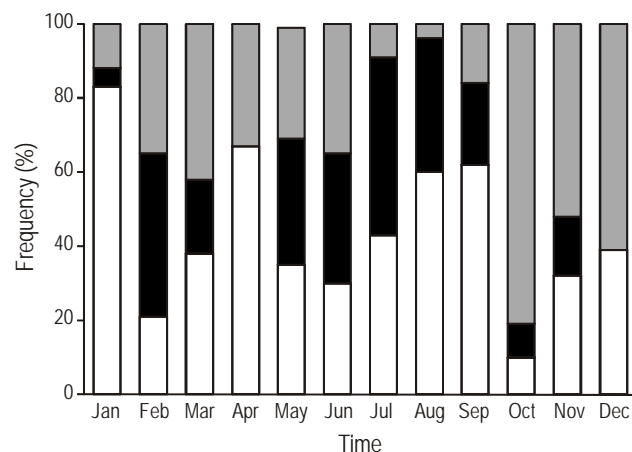
The TL-VOC relation of the analyzed individuals was:  $VOC = (10.80 \times TL) - 330.11$  ( $r^2 = 0.90$ ,  $n = 13$ ; fig. 8). The regression lines explaining the relationship between TL and

(en recuperación), los testículos están reducidos a dos filamentos, su vascularización es abundante, dándoles una coloración roja intensa, y las crestas han desaparecido. El estadio III fue observado con mayor frecuencia de octubre (81%) a diciembre (61%) (fig. 5).

El IGS mostró un aumento pronunciado en junio ( $0.16 \pm 0.04$ , IC 95%), julio ( $0.31 \pm 0.03$ , IC 95%) y agosto ( $0.19 \pm 0.02$ , CI 95%), lo que indica el periodo reproductivo de la especie (fig. 6). El factor de condición (K) mostró una tendencia aproximadamente inversa, con valores bajos de mayo a octubre y los valores más altos en marzo ( $0.031 \pm 0.003$ ) y diciembre ( $0.029 \pm 0.002$ ) (fig. 6).

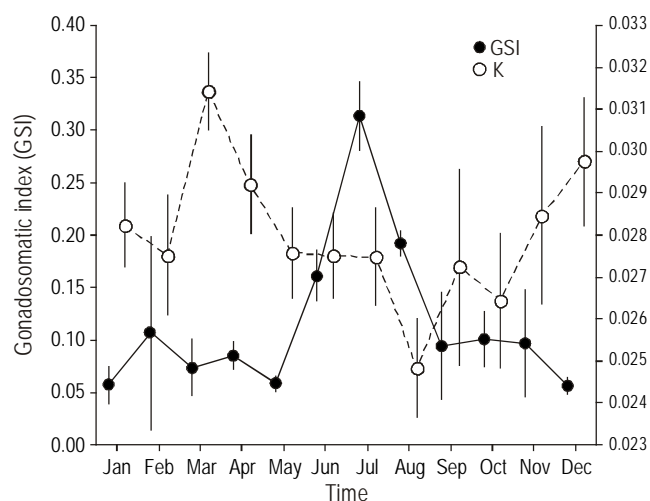
El intervalo de tallas de los machos incubadores fue de 36 a 45 cm LT, con un promedio de  $39.9 \pm 1.54$  cm LT (IC 95%). Los machos recolectados estaban en estadio de madurez sexual II (peso medio de las gónadas =  $0.83 \pm 0.15$  g, IC 95%). De los 13 machos incubadores, diez ejemplares tuvieron de 1 a 15 huevos en la cavidad oral (72 huevos en total), un ejemplar acarrea dos juveniles pequeños (8.0 y 8.1 cm LT) y dos ejemplares no contenían ni huevos ni juveniles. El diámetro de los huevos que estaban siendo incubados osciló de 1.4 cm ( $V = 1.43$  cm<sup>3</sup>) a 1.9 cm ( $V = 3.59$  cm<sup>3</sup>). El diámetro más frecuente fue de 1.9 cm (64.8% del total) seguido del de 1.8 cm (21.1%, fig. 7). El 97% de los huevos presentaron embriones en estadios tempranos de desarrollo.

La relación LT-VCO de los individuos analizados fue la siguiente:  $VCO = (10.80 \times LT) - 330.11$  ( $r^2 = 0.90$ ,  $n = 13$ ; fig. 8). Las rectas que explican la relación entre la LT y el número de huevos de determinado tamaño que un macho puede acarrear fueron generadas usando las siguientes



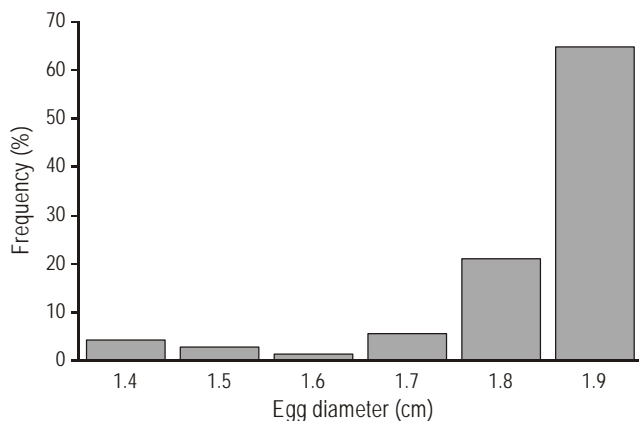
**Figure 5.** Monthly proportion of gonad maturity stages in male *Bagre marinus* caught by the small-scale longline fleet: immature (white), mature (black), and recovering (gray).

**Figura 5.** Proporción mensual de estadios gonádicos en machos de bagre bandera *Bagre marinus* provenientes de la pesca marina de pequeña escala con palangre de fondo; estadio inmaduro (blanco), estadio maduro (negro), estadio en recuperación (gris).



**Figure 6.** Monthly gonadosomatic index (GSI) and condition factor (K) of male *Bagre marinus* caught by Tabasco's small-scale coastal fisheries. Vertical lines indicate a 95% confidence interval.

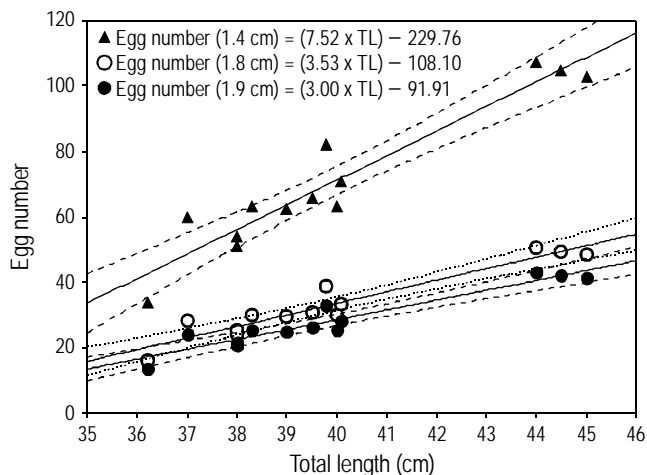
**Figura 6.** Índice gonadosomático (GSI) y factor de condición (K) mensual de machos de *Bagre marinus* provenientes de la pesca marina de pequeña escala de Tabasco. Las líneas verticales indican un intervalo de confianza al 95%.



**Figure 7.** Frequency distribution of egg diameters found in the oropharyngeal cavity of mouthbrooding male *Bagre marinus* collected at the mouth of the Grijalva River, Tabasco, Mexico.

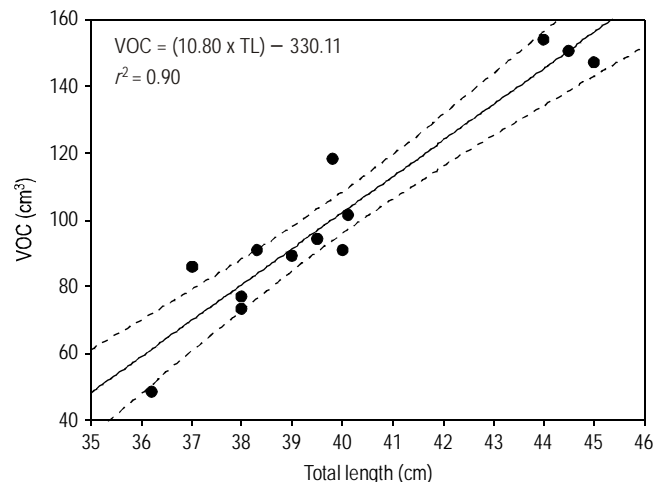
**Figura 7.** Distribución de frecuencia de los diámetros de huevos encontrados en la cavidad orofaríngea de los machos incubadores de *Bagre marinus* recolectados en la boca del río Grijalva, Tabasco, México.

the number of eggs of a given size that a male can carry were generated using the following equations: number of eggs<sub>(1.9 cm)</sub> = (3.00 × TL) – 91.91, number of eggs<sub>(1.8 cm)</sub> = (3.53 × TL) – 108.10, and number of eggs<sub>(1.4 cm)</sub> = (7.52 × TL) – 229.76 (fig. 9). The minimum VOC (including the expansion of the hyoid region) was 48.3 cm<sup>3</sup> for an individual measuring 36.2 cm TL, capable of carrying up to 17 eggs of 1.9 cm diameter, and the maximum VOC was 154.19 cm<sup>3</sup> for an individual measuring 44 cm TL, capable of carrying 40 eggs of 1.9 cm diameter (fig. 9).



**Figure 9.** Relationship between total length and egg carrying capacity of mouthbrooding male *Bagre marinus*. Broken lines indicate a 95% confidence interval.

**Figura 9.** Relación entre la longitud total y el número de huevos que un macho de *Bagre marinus* puede incubar. Las líneas punteadas indican un intervalo de confianza al 95%.



**Figure 8.** Relationship between total length and oropharyngeal volume of mouthbrooding male *Bagre marinus* caught at the mouth of the Grijalva River, Tabasco, Mexico. Broken lines indicate a 95% confidence interval.

**Figura 8.** Relación entre la longitud total y el volumen de la cavidad orofaríngea de machos incubadores de *Bagre marinus* recolectados en la boca del río Grijalva, Tabasco, México. Las líneas punteadas indican un intervalo de confianza al 95%.

ecuaciones: número de huevos<sub>(1.9 cm)</sub> = (3.00 × LT) – 91.91, número de huevos<sub>(1.8 cm)</sub> = (3.53 × LT) – 108.10 y número de huevos<sub>(1.4 cm)</sub> = (7.52 × LT) – 229.76 (fig. 9). El VCO (incluyendo la distensión de la región hioidea) mínimo fue de 48.3 cm<sup>3</sup> y correspondió a un individuo de 36.2 cm LT, pudiendo acarrear hasta 17 huevos de 1.9 cm de diámetro; el VCO máximo fue de 154.19 cm<sup>3</sup> y correspondió a un individuo de 44 cm LT, pudiendo acarrear hasta 40 huevos de 1.9 cm de diámetro (fig. 9).

Durante el muestreo de los machos incubadores, los parámetros del agua presentaron las siguientes mediciones: temperatura, 29 °C; oxígeno disuelto, 4.33 ± 0.94 mg L<sup>-1</sup>; pH, 8.43 ± 0.04; conductividad, 48.69 ± 0.35 mS cm<sup>-1</sup>; salinidad, 32; y transparencia, 10.7 ± 1.2 cm. Los 3 permisionarios y 14 pescadores entrevistados coincidieron en que la temporada de avistamiento de los cardúmenes de machos incubadores inicia entre a fines de junio e inicios de julio y termina entre agosto y septiembre, y que esto ha sido constante desde al menos 1995.

## DISCUSIÓN

Una de las principales características de *B. marinus* que se observó en este estudio es la constancia y persistencia temporal y espacial de sus procesos reproductivos. Esta constancia en las fechas del evento reproductivo también ha sido registrada para otras especies de áridos del Atlántico centro occidental como *Ariopsis felis* (Gunter 1947, Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez 1988), *Cathorops spixii* (Fávaro *et al.* 2005), *C. melanopus* (Yáñez-Arancibia y

During the sampling period at the mouth of the Grijalva River, water temperature was 29 °C; salinity, 32; dissolved oxygen,  $4.33 \pm 0.94 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH,  $8.43 \pm 0.04$ ; conductivity,  $48.69 \pm 0.35 \text{ mS cm}^{-1}$ ; and transparency,  $10.7 \pm 1.2 \text{ cm}$ . The 3 licensees and 14 fishermen interviewed all agreed that the shoals of mouthbrooding males were sighted from late June/early July to August/September and that this had been constant since at least 1995.

## DISCUSSION

One of the main characteristics of *B. marinus* observed in this research is the temporal and spatial constancy and persistence of its reproductive cycle. This constancy of the breeding season has also been reported for other ariid species from the Western Central Atlantic such as *Ariopsis felis* (Gunter 1947, Yáñez-Arancibia and Lara-Domínguez 1988), *Cathorops spixii* (Fávaro *et al.* 2005), *C. melanopus* (Yáñez-Arancibia and Lara-Domínguez 1988), *Ariopsis guatemalensis* (Burns and Ramírez 1990), *Genidens barbatus* (Reis 1986), *G. genidens* (Gomes and Araújo 2004), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Reyes and Fazlul 1990), *Aspitor luniscutis* (Gomes and Araújo 2004), and *Sciades herzbergii* (Chacón *et al.* 1994). In general, the breeding season of nearly all these species coincides with high temperatures and the rainy season, and extends over two to six months.

The reproductive cycle of *B. marinus* targeted by the small-scale longline fleet is reflected by the decrease in the number of males captured during September and October, and the males that are caught have empty or nearly empty stomachs; the progressive increase in the stomach content index after October can be attributed to the recruitment of males that have finished incubating eggs (Mendoza-Carranza 2003). Gonadal development occurs at the same time in male and female *B. marinus*, the GSI for the latter peaking from June to August (Mendoza-Carranza 2003, Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005). The coincidence between our GSI results and those previously reported indicates the high spatial and temporal stability of the reproductive cycle of this species. In this study a description of the maturity stages of male gonads is given, extending the current knowledge of the species. The brief description of the maturity stages of male gonads given here extends the current knowledge of the species. The development of maturity stages throughout the year and the GSI of males captured by the longline fleet in the western part of Campeche Bank clearly show the annual evolution of the reproductive cycle and the period of maximum activity.

This species is fished throughout the year in the western part of Campeche Bank. Moreover, during and after the peaks in reproductive activity (June–August) recorded for the organisms caught by the longline fleet, shoals of mouthbrooding males are sighted in the vicinity of the mouth of the Grijalva River. These fish swim near the water surface and

Lara-Domínguez 1988), *Ariopsis guatemalensis* (Burns y Ramírez 1990), *Genidens barbatus* (Reis 1986), *G. genidens* (Gomes y Araújo 2004), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Reyes y Fazlul 1990), *Aspitor luniscutis* (Gomes y Araújo 2004), *Sciades herzbergii* (Chacón *et al.* 1994). En general, la época de reproducción de casi todas estas especies coincide con el periodo de altas temperaturas y la temporada de lluvias, y se extiende por periodos de dos hasta seis meses.

El proceso reproductivo de los individuos de *B. marinus* capturados por la flota marina de pequeña escala está reflejado por la disminución de machos durante septiembre y octubre, y los machos que son capturados tienen muy poco alimento en el estómago o su estómago está vacío; a partir de octubre, el incremento progresivo en el índice de llenado estomacal puede atribuirse al reclutamiento de los machos que han finalizado el periodo de incubación oral (Mendoza-Carranza 2003). El desarrollo gonadal de los machos de *B. marinus* es paralelo al documentado para las hembras, las cuales tienen sus picos máximos de IGS de junio a agosto (Mendoza-Carranza 2003, Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti 2005). La coincidencia en los resultados del IGS del presente estudio y de aquellos previamente registrados indica una alta estabilidad en espacio y tiempo en el ciclo reproductivo de esta especie. La descripción de los estadios de madurez gonádica de los machos presentada en nuestro estudio complementa la información hasta ahora conocida para la especie. El desarrollo de los estadios de madurez a lo largo del año y el IGS de los machos capturados en la pesca con palangre de fondo en el oeste del banco de Campeche reflejan de forma clara la evolución anual del proceso reproductivo y su periodo de máxima actividad.

Esta especie se captura durante todo el año en el oeste de Campeche. Además, los cardúmenes de machos incubadores comienzan a ser avistados en las inmediaciones de la boca del río Grijalva durante y después de los picos de actividad reproductiva (junio–agosto) registrados para los organismos provenientes de la pesca con palangre de fondo. Estos cardúmenes tienen la particularidad de nadar en la superficie del agua, lo que los hace muy visibles y, por tanto, susceptibles a la pesca con redes de cerco.

Durante el periodo de incubación los huevos ocupan la cavidad orofaríngea de los machos y, como resultado, se presentan algunas modificaciones adaptativas antes de y durante este periodo, tales como la distensión de la región hioidea para dar mayor capacidad de acarreo, el encogimiento del estómago y la acumulación de grasa en los mesenterios, que junto con los ovocitos no viables proporcionan las reservas alimenticias necesarias para sobrevivir (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza 2003). Después de la eclosión, los embriones son acarreados durante varias semanas hasta la absorción completa del saco vitelino, y este proceso puede durar de dos a tres meses (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti 2005).

El cuidado parental está más desarrollado en peces tropicales pequeños tanto de agua dulce (e.g., cíclidos) como



are consequently very visible and susceptible to purse seine fishing.

During the incubation period the eggs occupy the oropharyngeal cavity of males and some adaptive modifications are made before and during this period, such as expanding the hyoid region to allow greater carrying capacity, shrinking the stomach, and accumulating fat in the mesenteries, which together with the non-viable oocytes provide the food reserves needed to survive during this period (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza 2003). After hatching, the embryos are carried for several weeks (from two to three months) until the vitelline sac has been completely absorbed (Palazón *et al.* 1994, Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005).

Brood care is highly developed in small freshwater (e.g., cichlids) and saltwater (e.g., syngnathids, gobies) tropical fishes and mouthbrooding is an elaborate strategy (Winemiller and Dailey 2002, Ortega-Salas and Reyes-Bustamante 2006). In the case of *B. marinus*, however, because of its body size and the size of its eggs, mouthbrooding constitutes an extreme strategy (Winemiller and Rose 1992); in fact, *B. marinus* and the hardhead catfish, *Ariopsis felis*, are the only two medium-sized marine-estuarine species that employ this strategy off the coast of Tabasco.

According to the triangular life history theory, *B. marinus* is an equilibrium strategist. It attains a medium size, produces a reduced number of large eggs, invests a considerable amount of energy in the oral incubation of eggs, and has high offspring survival rates (Winemiller and Rose 1992). This strategy has allowed this species to take advantage of the seasonal changes that occur in the estuarine area, which is strongly influenced by the tributaries of Mexico's most important watershed, the Grijalva-Usumacinta (Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005).

Over the past two decades, *B. marinus* has been the marine teleost with the highest catch volumes in Tabasco (SAGARPA 2010), suggesting that mouthbrooding is an effective breeding strategy for the species. In the medium and long term, however, it is possible that this strategy will be insufficient to compensate for the high mortalities caused by the longline fishing operations off the coast of Tabasco and by the fishing of mouthbrooding males year after year (Mendoza-Carranza *et al.* 2012), a practice that targets the largest males with greatest reproductive potential (Coates 1988, Barbieri *et al.* 1992). Density-dependent mechanisms are thus activated and pressure is exerted on smaller-sized individuals to mature and cover this function (Venturelli *et al.* 2010). The loss of mouthbrooding males means that large amounts of eggs are also lost, and the species may not be able to maintain optimum stock levels (Chaves 1994, Lowerre-Barbieri *et al.* 2003).

Despite the limited data obtained due to the small sample size, our findings regarding the relation between TL and the number of eggs a male can incubate coincide with those mentioned by other authors. Rimmer and Merrick (1982) observed that the eggs incubated by male *B. marinus* ranged

marinos (e.g., signatidos, góbidos), y la incubación es una táctica muy elaborada (Winemiller y Dailey 2002, Ortega-Salas y Reyes-Bustamante 2006). Sin embargo, por su talla corporal y el tamaño de sus huevos, *B. marinus* presenta una forma extrema de esta táctica (Winemiller y Rose 1992); de hecho, *B. marinus* y el bagre boca chica, *Ariopsis felis*, son las únicas dos especies marino-estuarinas de talla media que emplean esta táctica en la zona costera de Tabasco.

De acuerdo con la teoría triangular del ciclo de vida, *B. marinus* es una especie con una estrategia de vida que tiende al equilibrio. Se caracteriza por alcanzar un tamaño intermedio, producir un número reducido de huevos grandes, invertir una importante cantidad de energía en la incubación oral y presentar una alta supervivencia de su progenie (Winemiller y Rose 1992). Esta táctica ha permitido que esta especie aproveche de forma exitosa los cambios estacionales que se dan en la zona estuarina, la cual es fuertemente influida por los afluentes de la cuenca más importante del país, la Grijalva-Usumacinta (Mendoza-Carranza y Hernández-Franyutti 2005).

La ventaja que le proporciona esta táctica reproductiva a *B. marinus* le ha permitido sostener los mayores volúmenes de captura en la pesca de pequeña escala de la costa de Tabasco desde hace al menos dos décadas (SAGARPA 2010). A mediano y largo plazo, es posible que esta táctica sea insuficiente para compensar la alta mortalidad poblacional producto de la pesca que año tras año se realiza sobre los cardúmenes de machos incubadores y de la pesca con palangre realizada en toda la costa de Tabasco (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Esta práctica actúa sobre los individuos machos de mayores tallas y mayor potencial reproductivo (Coates 1988, Barbieri *et al.* 1992). Esto activa los mecanismos denso-dependientes generando presión sobre individuos de menores tallas para que maduren y cubran esta función (Venturelli *et al.* 2010). Con la pérdida de machos reproductores, se pierden también grandes cantidades de huevos, lo cual representa un riesgo para que la especie mantenga sus niveles poblacionales óptimos (Chaves 1994, Lowerre-Barbieri *et al.* 2003).

A pesar del pequeño tamaño de muestra obtenido para estimar la relación entre LT y el número teórico de huevos que un macho podría incubar, nuestros resultados coinciden con otros trabajos previos. Con relación al tamaño de los huevos, Rimmer y Merrick (1982) documentaron que los huevos incubados por machos de *B. marinus* medían entre 1.5 y 2.5 cm de diámetro y que un macho usualmente podía portar entre 10 y 30 huevos. Kunz-Ramsay (2004) registró diámetros de entre 1.5 y 2.2 cm para los huevos de esta especie. Estos datos son muy cercanos a los diámetros registrados en el presente trabajo (1.4–1.9 cm). Asimismo, el intervalo de diámetros de huevos observados en machos incubadores es muy similar al intervalo (0.7–1.9 cm) observado para el lote de huevos de mayor tamaño y próximo a ser desovado en hembras maduras de *B. marinus* (Mendoza-Carranza y

from 1.5 to 2.5 cm in diameter and that one male could carry between 10 and 30 eggs. Kunz-Ramsay (2004) found that the eggs of this species ranged from 1.5 to 2.2 cm in diameter. These diameters are similar to those reported herein (1.4–1.9 cm). Moreover, the egg size range for mouthbrooding males is similar to the range (0.7–1.9 cm) reported for the batch of largest eggs about to be spawned in mature female *B. marinus* (Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti 2005). Both Mendoza-Carranza and Hernández-Franyutti (2005) and Pinheiro *et al.* (2006) observed a positive linear relation between female size and the number of eggs about to be spawned. The former reported a minimum of 28 eggs in a female measuring 35 cm TL and a maximum of 60 eggs in a female measuring 57 cm TL, while the latter observed a minimum of 10 eggs in a female measuring 31 cm TL and a maximum of 33 eggs in a female measuring 45 cm TL.

Low fecundities and the parental care strategy suggest that catfish recruitment is density dependent and, therefore, these species are particularly vulnerable to fishing mortality (Coates 1988). However, because of the small sample size, it was not possible to determine this relation in this study. To be able to accurately assess the effect of fishing on the dynamics of *B. marinus* stocks, further studies are needed to precisely determine the catch volumes of mouthbrooding males and to estimate the population size.

Despite the importance of *B. marinus*, the National Fisheries Chart (*Carta Nacional Pesquera*, CONAPESCA 2010) only indicates a closed season from June to August, but does not specify the type of gear (longline or purse seine), and recommends that fishing effort not be increased.

In summary, *B. marinus* has a specific, beneficial strategy to increase offspring survival, and males play an active and key role in caring for their eggs and offspring by oral incubation. As a result of this successful breeding strategy, this species has become the most abundant in the landings of Tabasco's small-scale coastal fisheries (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). On the other hand, this strategy also represents a risk because the shoals of mouthbrooding males are highly susceptible to fishing, resulting in high mortalities and a likely decrease in catch rates over time (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Management measures are urgently needed, especially a total ban on purse seine fishing of mouthbrooding males.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Tabasco State Government (SEDAFOP) for funding this project and the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT) for granting a scholarship to the first author. Thanks also to Juan Juárez and the fishermen from San Pedro and Bosque, Centla, Tabasco, for their help in obtaining the samples and experiences shared.

English translation by Christine Harris.

Hernández-Franyutti 2005). Tanto Mendoza-Carranza y Hernández Franyutti (2005) como Pinheiro *et al.* (2006) observaron una relación lineal positiva entre la talla de la hembra y el número de huevos próximos al desove. Los primeros autores registraron un mínimo de 28 huevos en una hembra de 35 cm LT y un máximo de 60 huevos en una hembra de 57 cm LT, y los últimos registraron un mínimo de 10 huevos en una hembra de 31 cm LT y un máximo de 33 huevos en una hembra de 45 cm LT.

Las bajas fecundidades y la estrategia del cuidado de las crías sugieren que el reclutamiento de las especies de bagre con cuidado parental es dependiente de la densidad y, por tanto, estas especies son muy vulnerables a la mortalidad por pesca (Coates 1988). Sin embargo, no fue posible observar este efecto para *B. marinus* debido al pequeño tamaño de muestra. Para poder hacer una estimación precisa del efecto de la pesca sobre la dinámica poblacional de *B. marinus*, es necesaria una cuantificación más precisa de los volúmenes de captura de machos durante el proceso de incubación oral y una estimación del tamaño de la población.

A pesar de la importancia de *B. marinus*, la Carta Nacional Pesquera (CONAPESCA 2010) sólo enuncia un periodo de veda de junio a agosto, pero no precisa el tipo de pesca (palangre o cerco), y recomienda no incrementar el esfuerzo pesquero.

Como conclusión, *B. marinus* presenta una táctica específicamente beneficiosa para incrementar la supervivencia de sus crías; la participación activa de los machos, por medio de la incubación oral, es fundamental en la protección de los huevos y las crías. El éxito de su estrategia reproductiva ha permitido que a lo largo del tiempo esta especie sea la más abundante en las capturas de la flota marina costera de pequeña escala de Tabasco (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Sin embargo, esta misma estrategia ha hecho que los cardúmenes de machos incubadores sean altamente susceptibles a la captura, lo cual es probable que a lo largo del tiempo haya incidido en las actuales caídas de sus tasas de captura (Mendoza-Carranza *et al.* 2012). Las medidas de manejo son urgentes, especialmente la prohibición absoluta de la pesca de cerco sobre los cardúmenes de machos incubadores.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Gobierno del Estado de Tabasco (SEDAFOP) por el apoyo financiero para la realización del proyecto, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor y a Juan Juárez y a los pescadores de San Pedro y la Barra Bosque (Centla, Tabasco) por su apoyo en la obtención de las muestras y experiencias compartidas.

## REFERENCES

- Acero PA, Betancur RR, Polanco AF, Chaparro N. 2005. Diferenciación sexual temprana a nivel óseo en dos géneros de bagres marinos (Pisces: Ariidae) del Caribe. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales 163: 19–25.
- Barbieri RL, dos Santos PR, Andreatta VJ. 1992. Reproductive biology of the marine catfish, *Genidens genidens* (Siluriformes, Ariidae), in the Jacarepaguá Lagoon system, Rio de Janeiro, Brazil. Environ. Biol. Fish. 35: 23–35.
- Burns RJ, Ramirez AM. 1990. Annual pattern of reproduction of the bagre, *Arius guatemalensis* (Pisces: Ariidae), in El Salvador. Rev. Biol. Trop. 38: 487–490.
- Chacón JO, Alves MIM, de Mesquita MSC. 1994. Alguns aspectos da reprodução do bagre branco, *Selenaspis herzbergii* (Bloch 1794), Pisces: Ostariophysi, Siluriformes, Ariidae. Bol. Tec. DNOCS 47: 43–78.
- Chaves P de TC. 1994. A incubação de ovos e larvas em *Genidens genidens* (Valenciennes) (Siluriformes, Ariidae) da baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. Rev. Bras. Zool. 11: 641–648.
- Coates D. 1988. Length-dependent changes in egg size in fecundity in females, and brooded embryo size in males of fork-tailed catfishes (Pisces: Ariidae) from the Sepik River, Papua New Guinea with some implications for stock assessments. J. Fish Biol. 33: 455–464.
- CONAPESCA. 2010. Carta Nacional Pesquera, 2010. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca: <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/cartaNacionalPesquera2010.pdf>. Accessed June 2011.
- Fávaro FL, Frehse AF, de Oliveira NR Jr., Swuarz R. 2005. Reprodução do bagre amarelo, *Cathorops spixii* (Agassiz) (Siluriformes, Ariidae), da Baía Pinheiros, região estuarina do litoral do Paraná, Brasil. Rev. Bras. Zool. 22: 1022–1029.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. J. Appl. Ichthyol. 22: 241–253.
- Gomes ID, Araújo FG. 2004. Reproductive biology of two marine catfishes (Siluriformes, Ariidae) in the Sepetiba Bay, Brazil. Rev. Biol. Trop. 52: 143–156.
- Gunter G. 1947. Observations on Breeding of the Marine Catfish, *Galeichthys felis* (Linnaeus). Copeia 4: 217–223.
- Kunz-Ramsay Y. 2004. Developmental Biology of Teleost Fishes. Springer, 636 pp.
- Lara-Lara JR, Arenas FV, Bazán GC, Díaz CV, Escobar BE, García AM de la C, Gaxiola CG, Robles JG, Sosa AR, Soto GLA, Tapia GM, Valdez-Holguín JE. 2008. Los ecosistemas marinos. In: CONABIO (eds.), Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. México, pp. 135–159.
- Lowerre-Barbieri SK, Vose FE, Whittington JA. 2003. Catch-and release fishing on a spawning aggregation of common snook: Does it affect reproductive output. Trans. Am. Fish. Soc. 132: 940–952.
- Mendoza-Carranza M. 2003. The feeding habits of gafftopsail catfish *Bagre marinus* (Ariidae) in Paraiso Coast, Tabasco, Mexico. Hidrobiológica 13: 119–126.
- Mendoza-Carranza M, Hernández-Franyutti A. 2005. Annual reproductive cycle of gafftopsail catfish, *Bagre marinus* (Ariidae), in a tropical coastal environment in the Gulf of Mexico. Hidrobiológica 15: 275–282.
- Mendoza-Carranza M, Romero-Rodríguez A, Segura-Berttolini E, Ramirez-Mosqueda E, Arévalo-Frías W. 2012. El bagre bandera *Bagre marinus* como especie clave de la pesca marina de pequeña escala en la costa de Tabasco. In: Sánchez AJ, Chiappa-Carrara X, Pérez B (eds.), Recursos Acuáticos Costeros del Sureste: Tendencias actuales en investigación y estado del arte. RECORECOS, CONCYTEY, UNACAR, UJAT, ECOSUR, UNAM., pp. 527–547.
- Ortega-Salas AA, Reyes-Bustamante H. 2006. Fecundity, survival, and growth of the seahorse *Hippocampus ingens* (Pisces: Syngathidae) under semi-controlled conditions. Rev. Biol. Trop. 54: 1099–1102.
- Palazón FJL, León RJ, Gómez FE, Bolaños J. 1994. Reproducción del bagre cacumo, *Bagre marinus* (Mitchill 1815) (Pisces: Ariidae), de la costa sur de Margarita, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela 33: 19–27.
- Pinheiro P, Broadhurst MK, Hazin FHV, Bezerra T, Hamilton S. 2006. Reproduction in *Bagre marinus* (Ariidae) off Pernambuco, northeastern Brazil. J. Appl. Ichthyol. 22: 189–192.
- Reis EG. 1986. Reproduction and feeding habits of the marine catfish *Netuma barba* (Siluriformes, Ariidae) in the estuary of Lagoa dos Patos, Brazil. Atlântica 8: 35–55.
- Reyes AO, Fazlul MH. 1990. Algunos aspectos reproductivos del bagre rayado, *Pseudoplatystoma fasciatum* Linnaeus, 1776 (Pisces: Pimelodidae) en la Laguna Grande, Maturín, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela 29: 133–140.
- Rimmer MA, Merrick. 1982. A review of reproduction and development in the fork-tailed catfishes (Ariidae). Proc. Linn. Soc. N.S.W. 107: 41–50.
- SAGARPA. 2010. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Mazatlán, 285 pp., [www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_anuario\\_estadistico\\_de\\_pesca](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca). Accessed June 2011.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. WH Freeman, New York, 887 pp.
- Trippel EA. 2003. Estimation of male reproductive success of marine fishes. J. Northwest Atl. Fish. Soc. 33: 81–113.
- Vazzoler AEA de M. 1996. Biología da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e prática. EDUEM, São Paulo, SBI, 169 pp.
- Venturelli PA, Murphy CA, Shuter BJ, Johnson TA, van Coeverden de Groot PA, Boag PT, Casselman JM, Montgomerie RM, Weigand MD, Leggett WC. 2010. Maternal influences on population dynamics: Evidence from an exploited freshwater fish. Ecology 91: 2003–2012.
- Winemiller KO, Rose KA. 1992. Patterns of life-history diversification in North American fishes: Implications for population regulation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 2196–2218. <http://dx.doi.org/10.1139/f92-242>
- Winemiller KO, Dailey WH. 2002. Life history strategies and population regulation: Theory predicts consequences for supplemental stocking of tarpon. Contrib. Mar. Sci. 35: 81–94.
- Yáñez-Arancibia A, Lara-Domínguez AL. 1988. Ecology of three sea catfishes (Ariidae) in a tropical coastal ecosystem-southern Gulf of Mexico. Mar. Ecol. Prog. Ser. 49: 215–230.

Received March 2012,  
received in revised form December 2012,  
accepted December 2012.