

*Nota de Investigación/Research Note*Fecundidad del ángel de Cortés *Pomacanthus zonipectus* (Teleostei: Pomacanthidae)
en la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, MéxicoFecundity of Cortez angelfish *Pomacanthus zonipectus* (Teleostei: Pomacanthidae)
off Espíritu Santo Island, Gulf of California, Mexico

M Arellano-Martínez*, BP Ceballos-Vázquez, L Hernández-Olalde, F Galván-Magaña

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Apartado postal 592, La Paz, CP 23000, Baja California Sur, México

* E-mail: marellam@ipn.mx

Resumen

El pez ángel de Cortés *Pomacanthus zonipectus* es una especie importante para el mercado acuarístico. El conocimiento de su potencial reproductivo ayuda a establecer estrategias para el manejo de su pesquería. Con el propósito de estimar su fecundidad parcial (FP) y relativa (FR), durante la temporada reproductiva (junio a noviembre) se recolectaron ejemplares de *P. zonipectus* frente a la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, México. Después de un estudio histológico se eligieron para el análisis ovarios maduros que no presentaran evidencias de desove. El tamaño de muestra mínima (TMM) se calculó mediante una nueva metodología basada en el modelo de von Bertalanffy. La fecundidad se calculó por el método de oocitos hidratados. El TMM estimado fue de 0.04 g. La FP media fue de 40,755 oocitos hembra⁻¹ y la FR de 79.4 oocitos g⁻¹ de peso eviscerado (PE) y de 201.2 oocitos mm⁻¹ de longitud estándar (LE). Se observó una correlación positiva y significativa entre la FP y el tamaño del pez, tanto en PE como en LE ($P < 0.05$). La relación entre la FP y el tamaño del pez (PE y LE) se expresa por medio de una función exponencial.

Palabras clave: peces ángel, potencial reproductivo, muestra mínima, Golfo de California

Abstract

The Cortez angelfish *Pomacanthus zonipectus* is an important species for the aquarium market and knowledge of its reproductive potential is useful to establish strategies for its fishery management. To estimate partial and relative fecundity, samples of *P. zonipectus* were collected during the breeding season (June–November) off Espíritu Santo Island, Gulf of California, Mexico. After a histological study, mature ovaries that showed no evidence of spawning were selected for analysis. The minimum sample size was calculated with a new methodology based on the von Bertalanffy model and fecundity was calculated using the hydrated oocytes method. The minimum sample size was 0.04 g. Mean partial fecundity was 40,755 oocytes female⁻¹, and relative fecundity was 79.4 oocytes g⁻¹ eviscerated weight (EW) and 201.2 oocytes mm⁻¹ standard length (SL). A positive and significant correlation was observed between partial fecundity and fish size, in both EW and SL ($P < 0.05$). The relation between partial fecundity and fish size (EW and SL) was expressed by an exponential function.

Key words: angelfish, reproductive potential, minimum sample, Gulf of California.

Introducción

La fecundidad es un parámetro de gran interés en los estudios de equilibrio de poblaciones y representa un aspecto básico en el conocimiento de la estrategia reproductiva, por lo que constituye un elemento esencial en los estudios sobre dinámica de poblaciones (García-Montes *et al.* 1987) y sobre el potencial reproductivo de las especies y/o el tamaño de los stocks poblacionales (Hunter *et al.* 1992, Mantelatto y Fransozo 1997). Ambos aspectos son necesarios para planificar el uso sustentable de cualquier recurso.

Más de 5000 especies de peces marinos son capturadas en todo el mundo con fines de exhibición en acuarios, y cerca de 5% de ellas son extraídas del Golfo de California (Piña-Espallargas 2000). El ángel de Cortés *Pomacanthus zonipectus* (Gill 1863) se distribuye desde Baja California y el Golfo de California hasta Perú, incluyendo las Islas Galápagos (Allen y

Introduction

Fecundity is a parameter of great interest in the study of population balance. It represents a basic aspect of the knowledge of reproductive strategy and thus constitutes an essential element in studies on population dynamics (García-Montes *et al.* 1987) and on the reproductive potential of the species and/or the size of the stock (Hunter *et al.* 1992, Mantelatto and Fransozo 1997). Both aspects are necessary for planning the sustainable use of any resource.

More than 5000 species of marine fishes are captured worldwide for display in aquariums and about 5% of them are taken from the Gulf of California (Piña-Espallargas 2000). The Cortez angelfish *Pomacanthus zonipectus* (Gill 1863) is distributed from Baja California and the Gulf of California to Peru, including the Galapagos islands (Allen and Robertson 1994). Owing to their vivid coloring during the juvenile phase,

Robertson 1994). Debido al gran colorido que exhibe en su fase juvenil, *P. zonipectus* es una de las especies de mayor demanda en el mercado acuarístico, alcanzando precios de hasta US \$100 por cada ejemplar en el mercado internacional (Pérez-España y Abitia-Cárdenas 1996).

A pesar de la importancia económica de esta especie, es poco lo que se conoce sobre su biología. Reynolds y Reynolds (1971) reportan observaciones sobre su ecología, organización social, comportamiento y hábitos alimenticios en el Golfo de California. Pérez-España y Abitia-Cárdenas (1996) realizaron una descripción macroscópica del tracto digestivo y analizaron los hábitos alimenticios de esta especie, mientras que algunos de sus aspectos reproductivos fueron estudiados por Arellano-Martínez (1997). Sin embargo, no han sido reportadas estimaciones de fecundidad de esta especie. Su abundancia frente a la Isla Espíritu Santo es baja (Pérez-España *et al.* 1996, Aburto-Oropeza y Balart, 2001, Arreola-Robles y Elorduy-Garay 2002), por lo que su explotación podría estar poniendo en riesgo a la población.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la fecundidad de *P. zonipectus* en una población frente a la Isla Espíritu Santo, para lo cual se implementó una nueva metodología en el cálculo del tamaño de la muestra mínima para estimar este parámetro.

Material y métodos

Durante la época reproductiva (junio a noviembre) (Arellano-Martínez 1997) se capturaron 27 hembras de *P. zonipectus* en la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, México (fig. 1). Se hizo necesario mantener un tamaño de muestra relativamente pequeño debido a que la población de *P. zonipectus* en nuestra área de estudio es pequeña, con una abundancia relativa entre 0.01 y 0.1 (calculada como la proporción entre el número de individuos de *P. zonipectus* y el número total de peces en la región) (Pérez-España *et al.* 1996, Aburto-Oropeza y Balart 2001).

Los organismos fueron capturados entre las 9:00 y las 14:00 h con arpón tipo hawaiano mediante buceo libre a profundidades entre 2 y 10 m. En el laboratorio, se hizo la disección de los peces para extraer el ovario y este fue fijado en formol al 10%. Se registraron el peso eviscerado (PE, g), la longitud estándar (LE, mm) y el peso del ovario (g).

Una porción de cada ovario fue procesada histológicamente con inclusión en paraplast, haciendo cortes de 7 μm y tiñendo con hematoxilina-eosina (Humason 1979). Los cortes se analizaron al microscopio para seleccionar ovarios hidratados sin evidencia de desoves previos (i.e., sin folículos postovulatorios) con el fin de evitar una subestimación de la fecundidad.

Para calcular la fecundidad parcial (FP) se utilizó el método de oocitos hidratados (Hunter *et al.* 1985, Oda *et al.* 1993), el cual consiste en extrapolar al peso total de la gónada, el número de oocitos hidratados (próximos a ser desovados) cuantificados a partir de una muestra de peso conocido (muestra mínima).

P. zonipectus is one of the most demanded species by the international aquarium market and each individual can be worth up to US \$100 (Pérez-España and Abitia-Cárdenas 1996).

In spite of the economic importance of this species, little is known about its biology. Reynolds and Reynolds (1971) reported observations about its ecology, social organization, behavior and feeding habits in the Gulf of California. Pérez-España and Abitia-Cárdenas (1996) provided a macroscopic description of the digestive tract and analyzed the feeding habits, while Arellano-Martínez (1997) studied reproductive aspects. Estimations of the fecundity of *P. zonipectus*, however, have not been reported, and since the abundance of this species in our study area is low (Pérez-España *et al.* 1996, Aburto-Oropeza and Balart 2001, Arreola-Robles and Elorduy-Garay 2002), its exploitation may be putting the population at risk.

Thus, the objective of the present study was to determine the fecundity of *P. zonipectus* in a population off Espíritu Santo Island. A new methodology was implemented to calculate the minimum sample size to estimate this parameter.

Material and methods

During the breeding season, from June to November (Arellano-Martínez 1997), 27 females of *P. zonipectus* were captured off Espíritu Santo Island, Gulf of California, Mexico (fig. 1). It was necessary to keep the sample size relatively small because the *P. zonipectus* population in the study area is small, with a relative abundance of 0.01–0.1 (calculated as the ratio between the number of individuals of *P. zonipectus* and the total number of fishes in the region) (Pérez-España *et al.* 1996, Aburto-Oropeza and Balart 2001).

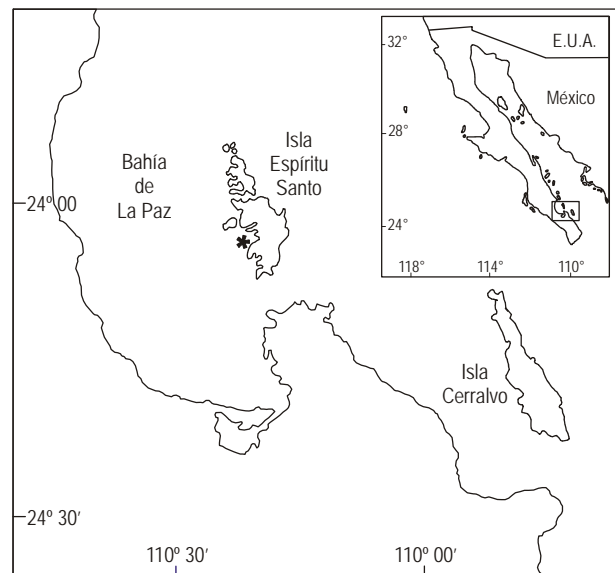


Figura 1. Localización de la zona de muestreo. El asterisco indica el lugar de muestreo.

Figure 1. Location of the study area. The asterisk indicates the sampling site.

Cálculo de la muestra mínima

Para calcular el tamaño de la muestra mínima (TMM) necesaria para la estimación de la fecundidad se utilizó el modelo de von Bertalanffy (1938), el cual fue adaptado a los requerimientos del estudio. Se trabajó bajo el supuesto de que a mayor peso se obtiene una mayor fecundidad, hasta que llega un momento en el que la variación del valor de la fecundidad parcial es mínima. El modelo entonces queda como sigue:

$$H_n = H_\infty(1 - e^{-kn}) \quad (1)$$

donde H_n es el número de oocitos en n gramos; H_∞ es el valor asintótico del máximo número de oocitos y k es la rapidez con que se incrementa el número de oocitos.

Para aplicar este modelo se pesaron por triplicado submuestras de 0.01 g de diferencia desde los 0.01 g hasta los 0.16 g, de un ovario. Se contó el número de oocitos hidratados y se extrapoló al peso total de la gónada para obtener la fecundidad parcial. Posteriormente se calculó el promedio para cada submuestra.

Con los valores obtenidos se realizó una regresión de H_n vs. H_{n+1} correspondientes a cada peso, y el valor de H_∞ se obtuvo con la siguiente relación:

$$H_\infty = \frac{a}{1-b} \quad (2)$$

En seguida, el valor de k se obtuvo despejando de la ecuación 1:

$$k = -\frac{\ln\left(1 - \frac{H_n}{H_\infty}\right)}{n}$$

Finalmente, se graficó el modelo obtenido y se consideró el TMM aquel en donde la variación de la fecundidad fue mínima.

Fecundidad parcial y relativa

De cada ovario se pesaron tres submuestras del peso establecido como TMM y se procedió como en el caso anterior para determinar la fecundidad parcial.

Para establecer la relación entre el peso eviscerado o la longitud del pez y la fecundidad parcial, se hicieron análisis de regresión para ajustar los datos a dos modelos, el lineal ($Y = a + bX$) y el exponencial ($Y = ae^{bX}$).

Para cada organismo se calculó la fecundidad relativa (FR) con relación al peso eviscerado (FRp) y a la longitud estándar

The specimens were captured between 9:00 and 14:00 h by free diving, using a Hawaiian harpoon at depths between 2 and 10 m. In the laboratory, the fish were dissected in order to extract the ovaries, which were preserved in a 10% formalin solution. The eviscerated weight (g), standard length (mm) and weight of the ovaries (g) were registered.

A portion of each ovary was processed histologically by inclusion in paraplast. Slices of 7 μ m were stained with hematoxylin-eosin (Humason 1979). The slices were analyzed under a microscope to select the hydrated ovaries without evidence of previous spawning (i.e., without postovulatory follicles), in order to avoid an underestimation of fecundity.

Partial fecundity was calculated using the method of hydrated oocytes (Hunter *et al.* 1985, Oda *et al.* 1993), which consists in extrapolating the number of hydrated oocytes (close to spawning) quantified from a sample of known weight (minimum sample) to the total gonad weight.

Calculation of the minimum sample

To calculate the minimum sample size for the estimation of fecundity, the von Bertalanffy (1938) model was used. This model was adapted to the requirements of the study, assuming that greater weight reflects greater fecundity, until a point when the variation of the partial fecundity value is minimal. Hence:

$$H_n = H_\infty(1 - e^{-kn}) \quad (1)$$

where H_n is the number of oocytes in n grams, H_∞ is the asymptotic value of the maximum number of oocytes, and k is the speed at which the number of oocytes increases.

To apply this model, subsamples from one ovary, differing by 0.01 g, of 0.01–0.16 g were weighed in triplicate. The number of hydrated oocytes was counted and extrapolated to the total gonad weight to obtain the partial fecundity in each case. The mean for each subsample was then calculated.

With the values obtained, a H_n vs H_{n+1} regression was made corresponding to each weight, and the value of H_∞ was obtained with the following equation:

$$H_\infty = \frac{a}{1-b} \quad (2)$$

The value of k was then obtained by balancing equation 1:

$$k = -\frac{\ln\left(1 - \frac{H_n}{H_\infty}\right)}{n}$$

Finally, the model obtained was plotted and the minimum sample size was considered that where the variation of the fecundity was minimal.

(FRI) mediante las siguientes relaciones:

$$FRp = \frac{\text{Fecundidad parcial}}{\text{Peso eviscerado}}$$

$$FRI = \frac{\text{Fecundidad parcial}}{\text{Longitud estandar}}$$

Resultados

Del total de organismos recolectados sólo cinco presentaron las características necesarias para estimar la fecundidad (oocitos hidratados y sin folículos postovulatorios). El rango de peso fue de 403 a 595 g PE (media = 513 ± 1.6 g de error estándar), y el rango de tallas fue de 191 a 210 mm LE (media = 201 ± 0.5 mm de error estándar). El diámetro medio de los oocitos hidratados fue de 675 ± 1.2 µm de error estándar.

El modelo obtenido para el cálculo del TMM se presenta en la figura 2. El TMM establecido fue de 0.04 g.

La FP varió entre 25,372 y 62,422 oocitos hembra⁻¹ (media = 40,756 ± 5404 oocitos hembra⁻¹ de error estándar), la FRp entre 49.4 y 104.9 oocitos g⁻¹ PE (media = 79.4 ± 9.2 oocitos g⁻¹ de error estándar) y la FRI entre 130.1 y 297.2 oocitos mm⁻¹ LE (media = 201.2 ± 24.3 oocitos mm⁻¹ de error estándar).

Tanto el PE como la LE presentaron una correlación positiva y significativa ($P < 0.05$) con la FP (fig. 3). Los modelos se presentan en la tabla 1. En ambos casos, el modelo con el que se obtuvo mejor ajuste fue el exponencial.

Discusión

Idealmente, los cálculos para estimar la fecundidad de una especie deberían realizarse contando todos los oocitos presentes en el ovario, pero esta práctica requiere demasiado tiempo y esfuerzo. Un método común ha sido estimar la fecundidad

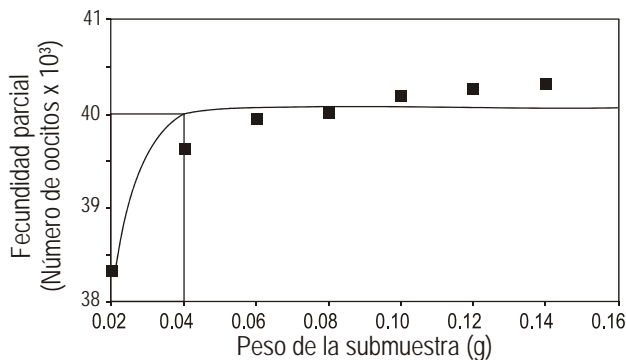


Figura 2. Datos observados (■) y calculados (-) con el modelo de von Bertalanfy para determinar el tamaño de la muestra mínima para estimar fecundidad en *Pomacanthus zonipectus*.

Figure 2. Observed data (■) and calculated data (-) using the von Bertalanfy model to determine the minimum sample size to estimate the fecundity of *Pomacanthus zonipectus*.

Partial and relative fecundity

Three subsamples, from each ovary, of the established weight (minimum sample size) were weighed and the partial fecundity was then determined as in the previous case.

To establish the relation between the eviscerated weight (EW) or standard length (SL) of the fish and the partial fecundity, analyses of regression were done to adjust, in each case, the data to two models: linear ($Y = a + bX$) and exponential ($Y = ae^{bX}$).

The relative fecundity (RF) was calculated for each organism in relation to the eviscerated weight (RFw) and to the standard length (RFI) as follows:

$$RFw = \frac{\text{Partial fecundity}}{\text{Eviscerated weight}}$$

$$RFI = \frac{\text{Partial fecundity}}{\text{Standard length}}$$

Results

Only five of the total number of organisms collected had the necessary characteristics to estimate fecundity (hydrated oocytes and no postovulatory follicles). Female weight ranged

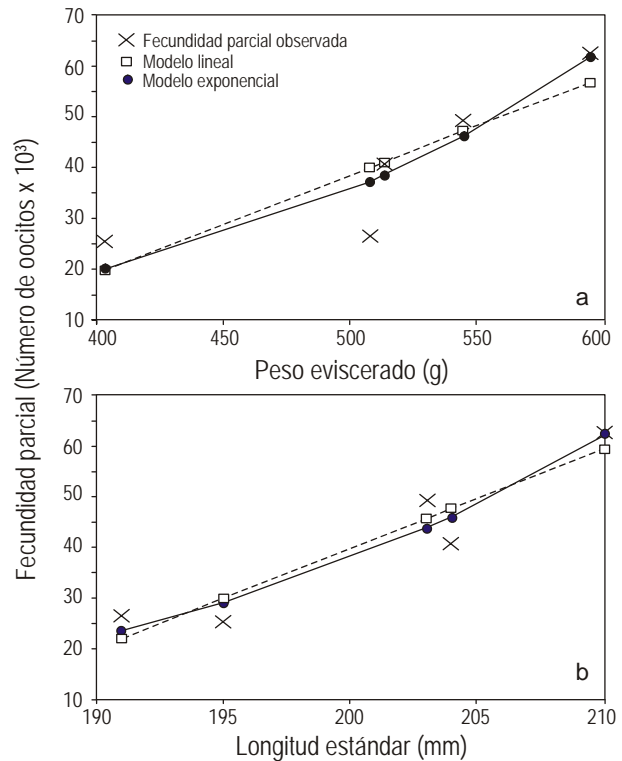


Figura 3. Relación del peso eviscerado (a) y la longitud estándar (b) con la fecundidad parcial de *Pomacanthus zonipectus*.

Figure 3. Relation between eviscerated weight (a) and standard length (b) and the partial fecundity of *Pomacanthus zonipectus*.

Tabla 1. Modelos usados para expresar la relación entre el peso eviscerado o la longitud estándar y la fecundidad parcial de *Pomacanthus zonipectus*.Table 1. Linear and exponential models used to express the relation between the eviscerated weight or standard length and the partial fecundity of *P. zonipectus*.

	Peso eviscerado		Longitud estándar	
	Lineal	Exponencial	Lineal	Exponencial
<i>a</i>	-57833.75	1917.92	-350114.5	1.455
<i>b</i>	192.19	0.00583	1948.51	0.051
<i>r</i>	0.86	0.92	0.94	0.96
<i>r</i> ²	0.74	0.85	0.88	0.92

parcial contando los oocitos presentes en muestras de peso conocido de tejido ovárico y extrapolando al peso total del ovario (Hunter *et al.* 1985, Beyers y Goosen 1986, Ruíz *et al.* 1999, Marin y Dodson 2000). Sin embargo, no se debe elegir un tamaño de muestra aleatorio porque se podría subestimar la fecundidad o hacer un trabajo excesivo sin otro valor. De ahí la importancia de estimar el tamaño de la muestra mínima que, al extrapolarla al peso total de la gónada, represente el número de oocitos próximos a desovar contenidos en cada ovario (Lo *et al.* 1986). La ventaja del método propuesto en este trabajo para la estimación de la muestra mínima, consiste en que es un método sencillo y rápido, lo que evita un trabajo excesivo y el dispendio de recursos.

En el grupo de los peces existe una gran variabilidad en los valores de fecundidad entre individuos de una población (Oda *et al.* 1993, Ruíz *et al.* 1999, Marin y Dodson 2000). En este estudio se encontró que la fecundidad parcial (referida como el número de oocitos próximos a ser liberados por una hembra por desove) fue extremadamente variable entre los peces analizados (25,372–62,422 oocitos hembra⁻¹). Esta gran variabilidad parece depender del tamaño (peso y longitud) de la hembra, como lo indican las correlaciones positivas y significativas entre el PE o la LE con la FP. Esta relación ha sido reportada para diversas especies (Oda *et al.* 1993, Ruíz *et al.* 1999, Torres *et al.* 1999, Marin y Dodson 2000) y ha sido descrita por muchos modelos matemáticos (Hempel 1979). En este estudio el mejor ajuste de la relación de PE o LE con FP se obtuvo con el modelo exponencial, por lo que se puede suponer que la fecundidad parcial de *P. zonipectus* aumenta exponencialmente con el tamaño tanto en peso como en longitud.

El estudio de la fecundidad de peces sujetos a captura intensa (deportiva o comercial) tiene gran importancia en la determinación de su potencial reproductivo (Calvo y Morriconi 1972). Entre los peces, los intervalos de fecundidad van desde unos pocos huevos, como es el caso de los cíclidos, hasta millones de ellos en gadoideos marinos y peces con desoves pelágicos (Hempel 1979). De acuerdo con nuestros resultados *P. zonipectus* presenta alta fecundidad (FP media de 40,756 oocitos hembra⁻¹), lo cual concuerda con la evidencia de ser desovador pelágico. Por lo tanto, se supone que presenta un

from 403 to 595 g EW (mean = 513 ± 1.6 g standard error) and size ranged from 191 to 210 mm SL (mean = 201 ± 0.5 mm standard error). The mean diameter of the hydrated oocytes was 675 ± 1.2 μm standard error.

Figure 2 shows the model obtained for the calculation of minimum sample size, which was established to be 0.04 g.

Partial fecundity ranged from 25,372 to 62,422 oocytes female⁻¹ (mean = 40,756 ± 5404 oocytes female⁻¹ standard error); RFW ranged from 49.4 to 104.9 oocytes g⁻¹ EW (mean = 79.4 ± 9.2 oocytes g⁻¹ standard error); and RFI ranged from 130.1 to 297.2 oocyte mm⁻¹ SL (mean = 201.2 ± 24.3 oocytes mm⁻¹, standard error).

Both EW and SL showed a positive and significant correlation ($P < 0.05$) with partial fecundity (fig. 3). The models are presented in table 1. In both cases, the best fit was obtained with the exponential model.

Discussion

Ideally, the calculations used to estimate the fecundity of a species should consider all the oocytes present in the ovary, but this technique requires too much time and effort. A common practice has been to estimate partial fecundity by counting the oocytes found in samples of known weight of ovarian tissue and extrapolating to the total weight of the ovary (Hunter *et al.* 1985, Beyers and Goosen 1986, Ruíz *et al.* 1999, Marin and Dodson 2000). A random sample size, however, should not be chosen because fecundity could be underestimated. Therefore, it is important to estimate the minimum sample size, which in the extrapolation to the total gonad weight will represent the number of oocytes that are close to spawning in each ovary (Lo *et al.* 1986). The advantage of the method proposed in this study to estimate the minimum sample lies in its speed and simplicity, avoiding excessive work and the waste of resources.

Among fishes, great variability exists in the values of fecundity between individuals of a population (Oda *et al.* 1993, Ruíz *et al.* 1999, Marin and Dodson 2000). In this study, partial fecundity (i.e., the number of oocytes about to be liberated by a spawning female) was found to be highly variable among the fish analyzed (25,372–62,422 oocytes female⁻¹). This high variability appears to be related to the size (weight and length)

potencial reproductivo alto. Koslow (1992) menciona que si la fecundidad de especies de peces marinos se encuentra entre 10^4 y 10^7 huevos por hembra (como en este caso), entonces sobrevivirán por el orden de 10 a 100 peces al final del primer año. Dado que *P. zonipectus* es un desovador parcial (Arellano-Martínez 1997) y puesto que sólo se cuantificaron los oocitos próximos a ser expulsados, suponemos que el potencial reproductivo puede ser aún mayor. Por lo tanto, las características reproductivas de *P. zonipectus* indican que esta especie puede seguir una estrategia reproductiva tipo *r* con un largo periodo reproductivo (Arellano-Martínez 1997) y alta fecundidad (este estudio).

Debido a la gran variabilidad en los valores de fecundidad aun entre peces de la misma población, talla y edad (Hempel 1979), y debido a que el número de muestras analizadas en este estudio fue mínimo, sería recomendable realizar un estudio adicional más exhaustivo en otra población de *P. zonipectus* cuyo tamaño permita obtener un mayor número de hembras con ovarios hidratados.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Estudios de Postgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento para la realización de este trabajo, así como por las becas de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas y Estímulo al Desempeño de los Investigadores otorgadas a M Arellano-Martínez, BP Ceballos-Vázquez y F Galván-Magaña. Se agradece a la Real English Agency la traducción al inglés.

Referencias

- Aburto-Oropeza O, Balart EF. 2001. Community structure of reef fish in several habitats of a rocky reef in the Gulf of California. *Mar. Ecol.* 22: 283–305.
- Allen G, Robertson DR. 1994. *Fishes of the Tropical Eastern Pacific*. Univ. Hawaii Press, 332 pp.
- Arellano-Martínez M. 1997. Biología reproductiva del ángel rey *Holacanthus passer* Valenciennes, 1846 y del ángel de cortés *Pomacanthus zonipectus* (Gill, 1863) (Teleostei: Pomacanthidae), en la costa sur-occidental del Golfo de California, México. Tesis de maestría, CICIMAR-IPN, México, 88 pp.
- Arreola-Robles JL, Elorduy-Garay JF. 2002. Reef fish diversity in the region of La Paz, Baja California Sur, México. *Bull. Mar. Sci.* 70: 1–18.
- Beyers CJ, Goosen PC. 1986. Variations in fecundity and size at sexual maturity of female rock lobster *Jasus lalandii* in the Benguela Ecosystem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 5: 515–521.
- Calvo J, Morriconi ER. 1972. Fenómenos reproductivos en el pejerrey (*Basilichthys bonariensis*). III. Estudio de la fecundidad. Época y número de desoves. *An. Soc. Cient. Argentina*, 193: 75–84.
- García-Montes JF, Gracia A, Soto LA. 1987. Morfometría, crecimiento relativo y fecundidad de la jaiba del Golfo *Callinectes similis* Williams, 1966 (Decapoda: Portunidae). *Cienc. Mar.* 13: 137–161.
- Hempel G. 1979. *Early Life History of Marine Fish. The Egg Stage*. Washington Sea Grant, 70 pp.

of the female, as indicated by the positive and significant correlations between EW or SL with partial fecundity. This relation has been reported for diverse species (Oda *et al.* 1993, Ruiz *et al.* 1999, Torres *et al.* 1999, Marin and Dodson 2000) and it has been described by many mathematical models (Hempel 1979). In this study, the best fit in the relation of EW or SL to partial fecundity was obtained with the exponential model. For this reason it can be assumed that the partial fecundity of *P. zonipectus* increases exponentially with size in both weight and length.

The study of the fecundity of fish subjected to intensive fishing pressure (sport or commercial) is highly important to determine the reproductive potential (Calvo and Morriconi 1972). Among fishes, fecundity ranges from a few eggs, as in the case of cichlids, to millions of eggs in marine gadoids and in fishes with pelagic spawning (Hempel 1979). According to our results, *P. zonipectus* shows high fecundity (mean partial fecundity of 40,756 oocytes female⁻¹), which agrees with evidence that it is a pelagic spawner. Therefore, it is assumed that *P. zonipectus* has a high reproductive potential. Koslow (1992) mentioned that if the fecundity of marine fish species is between 10^4 and 10^7 eggs per female (as in this case), then about 10 to 100 fish will survive until the end of the first year. Considering that *P. zonipectus* is a partial spawner (Arellano-Martínez 1997) and that only the oocytes that were close to being spawned were quantified, we believe that the reproductive potential of this species may be even greater. Hence, the reproductive characteristics of *P. zonipectus* indicate that this species may follow a type *r* reproductive strategy with a long reproductive period (Arellano-Martínez 1997) and high fecundity (this study).

Owing to the high variability of the fecundity values, even among fish of the same population, size and age (Hempel 1979), and to the small size of samples analyzed in this study, it would be recommendable to undertake an additional and more exhaustive study of a larger population of *P. zonipectus* so that more females with hydrated ovaries can be captured.

Acknowledgements

We are grateful to the Dirección de Estudios de Postgrado e Investigación of the Instituto Politécnico Nacional for funding this work, and to the Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas and EDI for the fellowships to M Arellano-Martínez, BP Ceballos-Vázquez and F Galván-Magaña. We thank the Real English Agency for the English translation.

- Humason GL. 1979. *Animal Tissue Techniques*. WH. Freeman, San Francisco, 692 pp.
- Hunter JR, Lo NCH, Leong RJ. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: Lasker R (ed.), *An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax**. NOAA Tech. Rep. NMFS 36, pp. 67–78.

- Hunter JR, Macewicz BJ, Lo NCH, Kimbrell CA. 1992. Fecundity, spawning, and maturity of female Dover sole *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. Fish. Bull. 90: 101–128.
- Koslow JA. 1992. Fecundity and the stock-recruitment relationship. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 210–217
- Lo NMC, Alheit J, Alegre B. 1986. Fecundidad parcial de la sardina peruana (*Sardinops sagax*). Bol. Inst. Mar Perú-Callao 28, No. 2.
- Mantelatto FLM, Fransozo A. 1997. Fecundity of the crab *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Decapoda, Brachyura, Portunidae) from the Ubatuba region, Sao Paulo, Brazil. Crustaceana 70: 215–225.
- Marin BJ, Dodson JJ. 2000. Age, growth and fecundity of the silver mullet, *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae), in coastal areas of northeastern Venezuela. Rev. Biol. Trop. 48: 389–398.
- Oda LD, Lavenberg RJ, Rounds JM. 1993. Reproductive biology of three California species of *Paralabrax* (Pisces: Serranidae). CalCOFI Rep. 34.
- Pérez-España H, Abitia-Cárdenas LA. 1996. Description of the digestive tract and feeding habits of the king angelfish and the cortés angelfish. J. Fish Biol. 48: 807–817.
- Pérez-España H, Galván-Magaña F, Abitia-Cárdenas LA. 1996. Variaciones temporales y espaciales en la estructura de la comunidad de peces de arrecifes rocosos del suroeste del Golfo de California, México. Cienc. Mar. 22: 273–294.
- Piña-Espallargas R. (2000). Especies marinas de ornato del Golfo de California y su uso. En: Aburto-Oropeza O, Sánchez-Ortiz C. (eds.), Recursos Arrecifales del Golfo de California. Estrategias de Manejo para las Especies Marinas de Ornato. Universidad Autónoma de Baja California Sur, pp. 61–71.
- Reynolds WW, Reynolds LJ. 1971. Observations on food habits of the angelfish *Pomacanthus zonipectus* and *Holacanthus passer* in the Gulf of California. Calif. Fish Game, 63: 124–125.
- Ruíz LJ, Figueroa RM, Prieto AA. 1999. Ciclo reproductivo de *Lactophrys quadricornis* (Pisces: Ostraciidae) de la costa nororiental de Venezuela. Rev. Biol. Trop. 47: 561–570.
- Torres CL, Santos-Martínez A, Acero AP. 1999. Reproducción de *Bairdiella ronchus* (Pisces: Sciaenidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Rev. Biol. Trop. 47: 553–560.
- Von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth. Hum. Biol. 10: 181–213.

*Recibido en agosto de 2003;
recibido en su forma actual en septiembre de 2004;
aceptado en julio de 2005.*