

Reproductive biology of the Pacific sierra *Scomberomorus sierra* (Pisces, Scombridae) in the central Mexican Pacific

Biología reproductiva de la sierra *Scomberomorus sierra* (Pisces, Scombridae) en el Pacífico central mexicano

G Lucano-Ramírez*, S Ruiz-Ramírez, FI Palomera-Sánchez, G González-Sansón

Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, V Gómez Fariás 82, San Patricio-Melaque, Jalisco, México.

* Corresponding author. E-mail: lucanorg@costera.melaque.udg.mx

ABSTRACT. Monthly samples of Pacific sierra *Scomberomorus sierra* were taken during nine years (1998–2000 and 2002–2007) with gillnets in Navidad Bay, Jalisco (Mexico). The sex ratio for the whole sampling period was not significantly different from 1 (F:M, 1:0.9). Monthly trends of the gonadosomatic index, the percentage of individuals with ripe gonads, and mean oocyte diameter indicate that this species reproduces in the period from April to June (spring). This reproduction period is also supported by the microscopic characteristics of gonads (highest percentage of oocytes in advanced vitellogenesis phase and high concentration of spermatozoa in lobular lumen and testis main duct). Total length (TL) ranged from 26.0 to 102.8 cm, with a mean of 53.3 cm. Mean maturation lengths calculated for females and males were 59.3 and 56.4 cm TL, respectively. Most individuals caught had a length which was smaller than the mean maturation length indicating that the fishery is based mostly on juvenile fish.

Key words: Scombridae, reproduction, gonadosomatic index, size at maturity, central Mexican Pacific.

RESUMEN. Se tomaron muestras mensuales de sierra *Scomberomorus sierra* durante nueve años (1998–2000 y 2002–2007) con redes de enmalle en la Bahía de Navidad, Jalisco (México). La proporción de sexos de *S. sierra* no presentó diferencias significativas (H:M, 1:0.9) durante el periodo de estudio. Las tendencias mensuales del índice gonadosomático, de los porcentajes de organismos con gónadas maduras y del diámetro promedio de los ovocitos indican que la sierra se reproduce en los meses de abril a junio (primavera). Este periodo de reproducción también se sustenta con las observaciones de las características microscópicas que presentaron las gónadas en esta época (mayor porcentaje de ovocitos en fase de vitelogénesis avanzada y alta concentración de espermatozoides en el lumen lobular y conducto principal del testículo). La longitud total (LT) osciló de 26.0 a 102.8 cm y el promedio fue de 53.3 cm. Las tallas promedio de maduración calculadas para hembras y machos fueron de 59.3 y 56.4 cm LT, respectivamente. La mayoría de los individuos capturados presentaron una longitud menor que la talla promedio de maduración sexual, lo que indica que en la zona de estudio la pesca de *S. sierra* está integrada principalmente por organismos jóvenes.

Palabras clave: Scombridae, reproducción, índice gonadosomático, talla de maduración, Pacífico central mexicano.

INTRODUCTION

Members of the family Scombridae are pelagic fish that reach adult sizes of 45 to 3000 cm (Collete 1995, Allen and Robertson 1998). Some small species inhabit coastal waters, while the larger ones undertake transoceanic migrations (Collete 1995). Most species of the family are used for human consumption, and tunas and mackerels form the basis of important commercial and recreational fisheries. Several species are intensely exploited by artisanal fisheries in tropical and temperate seas (Schmidt *et al.* 1993, Collete 1995, Sadeghi *et al.* 2009), hence the importance of knowing relevant biological aspects of fish population dynamics, including the reproductive biology (spawning season, size at sexual maturity, sex ratio, fecundity, and reproductive behavior), which are influenced by spatial and temporal variations of biotic and abiotic factors (Hernández-Olalde

INTRODUCCIÓN

Los miembros de la familia Scombridae son peces pelágicos que, siendo adultos, alcanzan tallas entre 45 y 3000 cm (Collete 1995, Allen y Robertson 1998). Algunas especies pequeñas viven en aguas costeras, mientras que las grandes realizan migraciones transoceánicas (Collete 1995). La mayoría de las especies de la familia se considera para el consumo humano, y los atunes, las macarelas y las caballas son la base de importantes pesquerías comerciales y deportivas. Varias especies son explotadas intensamente por pesquerías artesanales en mares tropicales y templados (Schmidt *et al.* 1993, Collete 1995, Sadeghi *et al.* 2009), de aquí la importancia de conocer los aspectos biológicos relevantes de la dinámica poblacional de los peces, entre éstos la biología reproductiva (temporada de reproducción, talla de maduración sexual, proporción de sexos, fecundidad y su

2008). Some studies of species of the family Scombridae address the reproductive frequency, gonadal maturity, macro- and microscopic characteristics of the gonads, size at first maturity, and spawning period (Sturm and Salter 1989, Schmidt *et al.* 1993, Claereboudt *et al.* 2005, Grandcourt *et al.* 2005, Mackie *et al.* 2005, Silva *et al.* 2005, Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006, Al-Zibdah and Odat 2007, Sadeghi *et al.* 2009).

The Pacific sierra *Scomberomorus sierra* is distributed in the Pacific from southern California to Peru, including the Galápagos Islands, unlike the Gulf sierra *S. concolor* that is endemic to the northern Gulf of California (Collette 1995). The former is commonly found having a fork length (FL) of 60 cm but can reach a size of 99.0 cm FL and weight of 8.2 kg, whereas the latter can reach a size of 76.0 cm FL and weight of 3.6 kg (Collette 1995, Allen and Robertson 1998). The Pacific sierra exhibits a migratory behavior because of diet (consisting of sardine and anchovy), reproductive, and temperature needs, making it a species that supports a temporal fishery based on migrations or runs (Medina-Gómez 2006, Valdovinos-Jacobo 2006, DOF 2010). In Mexico, the total landing of the sierra resource in 2009 was 13,756 t, of which 7,905 t came from the Pacific (*Anuario Estadístico de Pesca* 2009, http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca). The seven Mexican states that most contributed to the total sierra catch during the period 1996–2007 were Sonora, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Baja California Sur, Baja California, and Jalisco (DOF 2010). There is a great acceptance and demand for sierra in Mexico because of its taste, nutritional value, and accessible price (Ruiz-Durá 1985). In central Pacific Mexico, in terms of abundance in the total fish landings the sierra has ranked seventh (Rojo-Vázquez 1997, Rojo-Vázquez and Ramírez-Rodríguez 1997, Rojo-Vázquez *et al.* 2001) and fourth (Rojo-Vázquez *et al.* 2008). In view of the importance of *S. sierra* at national and local levels and of the scant information on its reproductive biology, this study aimed to determine the macro- and microscopic characteristics of the gonads, the period of maximum reproductive activity, sex ratio, and mean size at first reproduction of the organisms caught by the artisanal fishery in the central Mexican Pacific.

MATERIAL AND METHODS

Study area and fish sampling

Navidad Bay is located on the Pacific coast of central Mexico, in the southern part of the state of Jalisco. Samples of *S. sierra* were collected during the night from January 1998 to December 2007 (except in 2001) using gillnets with mesh sizes of 76.2, 88.9, 101.6, 114.3, and 127.0 mm. Each individual was measured for total length (TL) to the nearest 0.1 cm and weighed (total weight, TW) to the nearest 0.1 g. The gonads were removed. Sex and maturity stages were

comportamiento reproductivo), los cuales están influenciados por la variación espacial y temporal de los factores bióticos y abióticos (Hernández-Olalde 2008). Algunos estudios de las especies de la familia Scombridae abordan la frecuencia reproductiva, la madurez gonádica, las características macro y microscópicas de las gónadas, la talla de primera maduración y el periodo reproductivo (Sturm y Salter 1989, Schmidt *et al.* 1993, Claereboudt *et al.* 2005, Grandcourt *et al.* 2005, Mackie *et al.* 2005, Silva *et al.* 2005, Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006, Al-Zibdah y Odat 2007, Sadeghi *et al.* 2009).

La sierra *Scomberomorus sierra* se distribuye en el Pacífico desde el sur de California hasta Perú, incluyendo las Islas Galápagos, a diferencia de *S. concolor* que es endémica del norte del Golfo de California (Collette 1995). Es común encontrar la primera especie a una longitud furcal (LF) de 60 cm y puede alcanzar una talla de 99.0 cm LF y un peso de 8.2 kg, mientras que la segunda llega a medir 76.0 cm LF y a pesar 3.6 kg (Collette 1995, Allen y Robertson 1998). *Scomberomorus sierra* tiene una conducta migratoria que se debe a la alimentación (constituida por sardina y anchoveta), la reproducción y la temperatura, lo que la hace una especie que sustenta una pesquería temporal basada en migraciones o “corridas” (Medina-Gómez 2006, Valdovinos-Jacobo 2006, DOF 2010). En México, la captura total del recurso sierra fue de 13,756 t en 2009, y de esta cantidad, 7,905 t provinieron del Pacífico (*Anuario Estadístico de Pesca* 2009, http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca). En el Pacífico mexicano, los siete estados que contribuyeron en mayor porcentaje a la captura total de sierra de 1996 a 2007 fueron Sonora, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Baja California Sur, Baja California y Jalisco (DOF 2010). La sierra tiene gran aceptación y demanda en México por su sabor, valor nutricional y precio accesible (Ruiz-Durá 1985). En el Pacífico central mexicano, la sierra ha ocupado los lugares séptimo (Rojo-Vázquez 1997, Rojo-Vázquez y Ramírez-Rodríguez 1997, Rojo-Vázquez *et al.* 2001) y cuarto (Rojo-Vázquez *et al.* 2008) en términos de abundancia en la captura total de peces. Debido a la importancia que tiene *S. sierra* a nivel nacional y local, y a la escasa información sobre la biología reproductiva, el objetivo de este trabajo fue conocer las características macro y microscópicas de las gónadas, el periodo con mayor actividad reproductiva y la proporción sexual, y estimar la talla promedio de reproducción de los organismos capturados por la pesquería artesanal en el Pacífico central mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y muestreo de peces

Bahía de Navidad se localiza en el Pacífico central mexicano, en la costa sur del estado de Jalisco. Se realizaron recolectas nocturnas de *S. sierra* con redes agalleras de luz de malla de 76.2, 88.9, 101.6, 114.3 y 127.0 mm entre enero de 1998 y diciembre de 2007 (excepto en 2001). Se midió la

determined by direct observation of the gonads; maturity stages were classified according to the morphochromatic scale proposed by Holden and Raitt (1975) and Santos-Martínez (1989): immature, developing, ripe, and spent. Gonads were weighed (GW) to the nearest 0.01 g, and fixed and preserved in 10% neutral formol for subsequent histological processing: gonads were embedded in paraplast and sections of 5–8 μm thickness were stained with hematoxylin-eosin. Oocyte development stages were determined based on the characteristics described by Yamamoto and Yamazaki (1961), Cerisola (1984), and Lucano-Ramírez *et al.* (2001b). The development of the testes was determined based on the characteristics described by Hyder (1969) and Lucano-Ramírez *et al.* (2001a). In 1998 and 1999, images of ovarian histological sections were generated using a digital camera (Moticam 2000) coupled to a microscope (Zeiss, Axiostar). These images were used to obtain the diameter of oocytes in different stages of development (mean of the largest and smallest diameters). Only oocytes showing a nucleus were measured.

Data analysis

Sex ratio was calculated and statistically significant difference from a 1:1 ratio was determined by a χ^2 test (Zar 1999). The percentage of each gonadal maturity stage was calculated. A gonadosomatic index ($\text{GSI} = \text{GW}/\text{TW} \times 100$) and condition factor ($\text{CF} = \text{TW}/\text{TL}^3 \times 100$) were derived for each individual. The length at which 50% of the individuals were sexually mature ($L_{50\%}$) was estimated, fitting the logistic equation ($P_{\text{TL}} = 1/[1 + e^{(a\text{TL} + b)}]$) to the fraction of individuals that presented gonads in the developing and subsequent stages. Analysis of variance (Statistica 7.0) was used to compare mean oocyte diameter per season. When necessary, mean \pm standard error was calculated.

RESULTS

Size composition and sex ratio

A total of 1390 organisms were collected, ranging from 26.0 to 102.8 cm TL (53.3 ± 0.27 cm) and from 100.0 to 4930 g TW (847.4 ± 15.16 g). Females ranged from 33.3 to 101.0 cm TL (55.2 ± 0.39 cm) and males from 30.4 to 102.8 cm TL (51.3 ± 0.34 cm). The nets with mesh sizes of 76.2 and 127 mm on average captured the smallest (48.3 cm TL) and largest (72.7 cm TL) individuals, respectively (table 1). Mean size varied from 47.9 to 58.4 cm TL throughout the study period. Females presented the smallest mean size (51.6 cm TL) in 2006 and males (47.9 cm TL) in 1999. The largest mean sizes were recorded in 2003 (females = 57.6 cm and males = 58.4 cm TL).

No significant statistical difference was found between the number of females ($n = 703$) and males ($n = 684$) ($\chi^2 = 0.26$, $P > 0.61$) for the whole sampling period,

longitud total (LT) con precisión de ± 0.1 cm y se obtuvo el peso total (PT) con precisión de ± 0.1 g de cada individuo. Las gónadas se extrajeron. El sexo y los estadios de madurez se determinaron mediante observación directa; los estadios de madurez se clasificaron con base en las características morfo cromáticas de las gónadas según Holden y Raitt (1975) y Santos-Martínez (1989): inmaduro, en desarrollo, maduro y desovado. Las gónadas se pesaron (PG) con precisión de ± 0.01 g, y se fijaron y preservaron en formol neutro al 10% para su procesamiento histológico posterior: inclusión en paraplast, cortes de 5–8 μm de grosor y tinción con hematoxilina-eosina. La determinación de las fases de desarrollo de los ovocitos se basó en las características descritas por Yamamoto y Yamazaki (1961), Cerisola (1984) y Lucano-Ramírez *et al.* (2001b). El desarrollo de los testículos se determinó según las características descritas por Hyder (1969) y Lucano-Ramírez *et al.* (2001a). En 1998 y 1999 se obtuvieron imágenes de cortes histológicos de ovarios con una cámara digital (Moticam 2000) acoplada a un microscopio (Zeiss, Axiostar). A partir de las imágenes, se obtuvo el diámetro de las diferentes fases de los ovocitos; esta medida resultó del promedio entre los diámetros mayor y menor. Únicamente se midieron aquellos ovocitos que presentaron núcleo.

Análisis de datos

Se calculó la proporción sexual y la significación estadística de la diferencia con respecto a la proporción 1:1 se determinó mediante la prueba χ^2 (Zar 1999). Se calculó el porcentaje de cada uno de los estadios de madurez gonadal. El índice gonadosomático ($\text{IGS} = \text{PG}/\text{PT} \times 100$) y el factor de condición ($\text{FC} = \text{PT}/\text{LT}^3 \times 100$) se obtuvieron para cada individuo. Se estimó la longitud a la cual el 50% de los individuos se encontraban maduros sexualmente ($L_{50\%}$), mediante el ajuste de la ecuación logística ($P_{\text{LT}} = 1/[1 + e^{(a\text{LT} + b)}]$) a la fracción de peces que presentaron gónadas en los estadios en desarrollo y posteriores. El diámetro promedio de los ovocitos se comparó por estación mediante el análisis de varianza (Statistica 7.0). Cuando fue necesario, se calculó la media \pm el error estándar.

RESULTADOS

Composición por talla y proporción sexual

Se recolectaron 1390 organismos que midieron entre 26.0 y 102.8 cm LT (53.3 ± 0.27 cm) y pesaron entre 100.0 y 4930 g PT (847.4 ± 15.16 g). Las hembras midieron entre 33.3 y 101.0 cm LT (55.2 ± 0.39 cm) y los machos entre 30.4 y 102.8 cm LT (51.3 ± 0.34 cm). La red de 76.2 mm de luz de malla capturó, en promedio, a los organismos más pequeños (48.3 cm LT) y la red de 127 mm, a los organismos más grandes (72.7 cm LT) (tabla 1). La talla promedio varió de 47.9 a 58.4 cm LT durante todo el periodo de estudio. Las hembras presentaron la talla promedio mínima (51.6 cm LT)

Table 1. Mean length ($\bar{x} \pm$ standard error) of *Scomberomorus sierra* individuals caught by gillnets in the central Mexican Pacific.

Tabla 1. Longitud promedio ($\bar{x} \pm$ error estándar) de los individuos de *Scomberomorus sierra* capturados en las redes de enmalle utilizadas en el Pacífico central mexicano.

Gillnet mesh size (mm)	N	\bar{x}	Range (cm)	
76.2	591	48.3 \pm 0.28	26.0	85.0
88.9	505	53.6 \pm 0.31	34.6	88.5
101.6	126	63.3 \pm 0.81	42.0	88.1
114.3	114	62.6 \pm 1.42	30.4	102.8
127.0	22	72.7 \pm 1.32	60.0	83.2

corresponding to a F:M ratio of 1:0.9. Analysis of the sex ratio by year showed significant differences in only two of the nine years analyzed (2003: $\chi^2 = 5.13$, $P < 0.02$; 2006: $\chi^2 = 8.33$, $P < 0.01$).

Monthly variation of the gonadal maturity stages

Table 2 shows the macroscopic and microscopic characteristics of the stages of ovarian and testis development in *S. sierra*. Immature gonads were observed throughout the study period, though low percentages were recorded in April, May, and June for both sexes. Developing female gonads were observed in 11 of the 12 months and developing male gonads in all 12 months, but the highest percentages were recorded in March and April for both sexes. Ripe female gonads were observed from January to August and ripe male gonads from January to July, the highest percentages occurring in April, May, and June in the case of both sexes. Low percentages of spent female and male gonads were recorded in the months when this stage occurred (fig. 1).

Monthly variation of the gonadosomatic index

The highest GSI values for both sexes were recorded from April to June (fig. 2); this suggests synchrony between the sexes. In general, the lowest values were recorded after this period. The highest GSI values recorded for females ranged from 2.1 to 2.9 and for males from 2.5 to 2.7. The combined monthly distribution of the GSI and of the maturity stages showed a similar pattern, indicating that *S. sierra* reproduces between April and June.

Monthly variation of the condition factor

The CF values did not show significant fluctuation, ranging from 0.48 to 0.54 for females and from 0.47 to 0.54 for males over the months. Both males and females showed maximum values (0.52–0.54) from April to July (fig. 2).

en 2006 y los machos (47.9 cm LT) en 1999. En 2003 se encontraron las tallas promedio máximas (hembras = 57.6 cm y machos = 58.4 cm LT).

El número de hembras ($n = 703$) y machos ($n = 684$) no presentó diferencia estadística significativa ($\chi^2 = 0.26$, $P > 0.61$) para todo el periodo de estudio, y corresponde a una proporción H:M de 1:0.9. En el análisis de la proporción sexual por años, sólo se presentaron diferencias significativas en dos de los nueve años analizados (2003: $\chi^2 = 5.13$, $P < 0.02$; 2006: $\chi^2 = 8.33$, $P < 0.01$).

Variación mensual de los estadios de madurez gonádica

En la tabla 2 se presentan las características macroscópicas y microscópicas de los estadios de desarrollo de ovarios y testículos de *S. sierra*. Se observaron gónadas inmaduras durante todo el periodo de estudio; sin embargo, se encontraron porcentajes bajos en abril, mayo y junio tanto en hembras como en machos. Las gónadas en desarrollo se encontraron durante 11 de los 12 meses en las hembras y durante todos los meses en los machos, pero los porcentajes máximos se presentaron en marzo y abril para ambos sexos. En las hembras, las gónadas maduras se observaron de enero a agosto y en los machos, de enero a julio; los porcentajes máximos de gónadas maduras se observaron en abril, mayo y junio en ambos sexos. En los meses que se encontraron gónadas desovadas, éstas se observaron en porcentajes bajos tanto en hembras como en machos (fig. 1).

Variación mensual del índice gonadosomático

Los valores máximos del IGS se presentaron de abril a junio para ambos sexos (fig. 2). Lo anterior sugiere sincronía entre los sexos. En general, los valores mínimos del IGS se observaron después de este periodo. Los valores máximos del IGS registrados para las hembras variaron de 2.1 a 2.9 y para los machos, de 2.5 a 2.7. La distribución mensual conjunta del IGS y de los estadios de maduración mostró un patrón similar, lo que sugiere que *S. sierra* se reproduce durante el periodo de abril a junio.

Variación mensual del factor de condición

Los valores del FC no presentaron gran variación; para las hembras oscilaron de 0.48 a 0.54 y para los machos, de 0.47 a 0.54 a lo largo de los meses. Tanto las hembras como los machos presentaron los valores máximos (0.52 a 0.54) de abril a julio (fig. 2).

Descripción microscópica de las gónadas

Durante el proceso de ovogénesis de *S. sierra* se distinguieron siete fases de desarrollo de los ovocitos: fase cromatina nucléolo, fase en perinucleolo, fase con vesículas

Table 2. Characteristics of the ovaries and testes of *Scomberomorus sierra* in each stage of development. SE, standard error. **Tabla 2.** Características de los ovarios y testículos de *Scomberomorus sierra* en cada etapa de desarrollo. SE, error estándar

Stage	Macroscopic characteristics (mean ovary/testis weight \pm SE)	Histologic characteristics (mean oocyte diameter \pm SE)	Mean fish length and weight (\pm SE)
Immature	Ovary is a small, translucent pink ribbon; oocytes are not visible to the naked eye (3.66 \pm 0.09 g) Testis is a small, white ribbon with a smooth surface (1.79 \pm 0.07 g)	Oocytes in chromatin-nucleolus (CN) stage with a very thin sheath of cytoplasm and a large nucleus; oocytes embedded in the ovigerous lamella and small (42.4 \pm 0.45 μ m) No sperm cells are noticeable; spermatogonia are observed along the lobule wall	84.1 \pm 0.23 cm 563.4 \pm 14.13 g 46.4 \pm 0.23 cm 506.3 \pm 8.19 g
Developing	Ovary increased in size compared with the previous stage, orange in color, eggs visible; no sexual products released when pressed (12.81 \pm 0.52 g) Testis opaque, white, and compact (12.60 \pm 0.49 g)	Oocytes in four stages: CN; peri-nucleolus (PN), many chromatin threads and nucleoli on the periphery of the nucleus (82.9 \pm 0.82 μ m); yolk vesicle (YV), yolk vesicles are formed (154.3 \pm 1.58 μ m); and primary yolk (PY), yolk vesicles have occupied the outer half zone of the cytoplasm and yolk globules appear (226.0 \pm 3.15 μ m) Lobules are relatively small and conspicuous; spermatogonia are abundant in the germinal epithelium, whilst cysts of spermatocytes and spermatids surround each lobule	61.4 \pm 0.74 cm 1234.0 \pm 45.70 g 56.0 \pm 0.72 cm 967.1 \pm 47.46 g
Ripe	Ovary translucent, wall elastic; eggs large and nearly transparent (47.03 \pm 2.70 g) Testis bigger and opaque, white, wall loose, and sperm released when pressed (35.96 \pm 1.67 g)	Oocytes in seven stages: CN; PN; YV; PY; secondary yolk (SY), yolk globules have accumulated in the ooplasm (300.9 \pm 2.53 μ m); tertiary yolk (TY), yolk globules increase in number and size and the yolk vesicles in the peripheral region form rows (338.1 \pm 7.27 μ m); and ripe (R), coalescence of yolk granules (260.3 \pm 10.4 μ m) Lobules containing many cysts with all phases of germ cell development present; a greater concentration of spermatozoa present in the lobular lumen	66.3 \pm 0.91 cm 1657.1 \pm 68.22 g 61.0 \pm 0.77 cm 1261.4 \pm 49.69 g
Spent	Ovary reduced, few yolked oocytes remaining; ovary bloodshot (8.53 \pm 0.49 g) Testis short, dark reddish, no sperm released; wall flaccid and rich in blood vessels (7.68 \pm 1.31 g)	Cells in various stages of atresia, and some hydrated and mature oocytes may be present in the tissue Little or no spermatocyte development; empty lobules and ducts, some residual sperm and cellular debris present	61.9 \pm 0.83 cm 1204.4 \pm 56.57 g 64.6 \pm 1.22 cm 1357.8 \pm 70.32 g

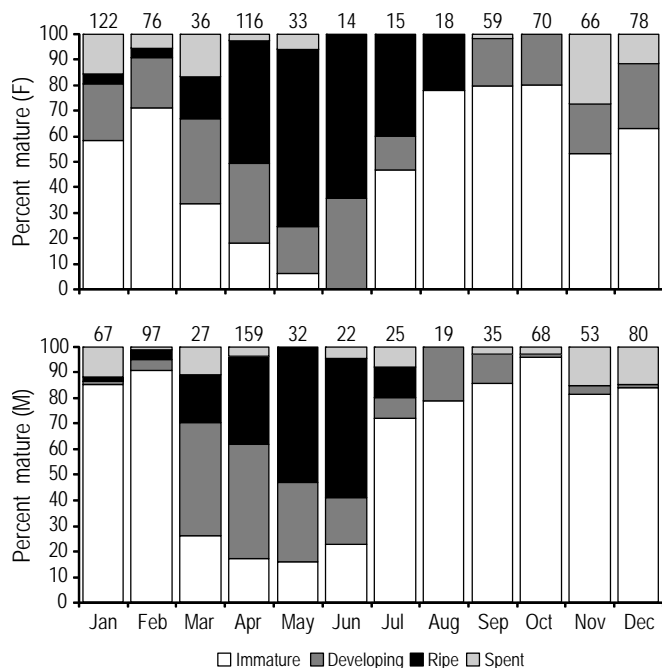


Figure 1. Monthly percentage of gonadal maturity stages for female (F) and male (M) *Scomberomorus sierra* in the central Mexican Pacific (1998–2007). Numbers on top indicate sample size.

Figura 1. Porcentaje mensual de los estadios de madurez gonadal de hembras (F) y machos (M) de *Scomberomorus sierra* en el Pacífico central mexicano (1998–2007). Los números en la parte superior indican el tamaño de muestra.

Microscopic description of the gonads

Seven stages of oocyte development were found during the process of oogenesis in *S. sierra*: chromatin-nucleolus stage, peri-nucleolus stage, yolk vesicle stage, primary yolk stage, secondary yolk stage, tertiary yolk stage, and ripe stage (fig. 3a, b). Ovaries during the immature and ripe stages showed oocytes in different stages of development, indicating asynchronous oocyte development in the ovary of *S. sierra*. In the testis, lobules were identified containing several spermatocysts in different stages of maturation. Within each spermatocyst, germ cells undergo synchronous development until becoming spermatozoa, which move to the center of the lobule and then to the main duct (fig. 3c, d). These morphological characteristics indicate that the testis of *S. sierra* is of the unrestricted lobular type.

Seasonal oocyte diameter frequency

Small (previtellogenic) oocytes were observed in all the seasons. In spring 1998 and 1999, the frequency of the large-diameter oocytes increased notably as a result of the process of vitellogenesis that occurs in the developing and ripe gonads. Mean oocyte diameter was $150.9 \pm 2.49 \mu\text{m}$ in spring 1998 and $207.2 \pm 3.73 \mu\text{m}$ in spring 1999; these values

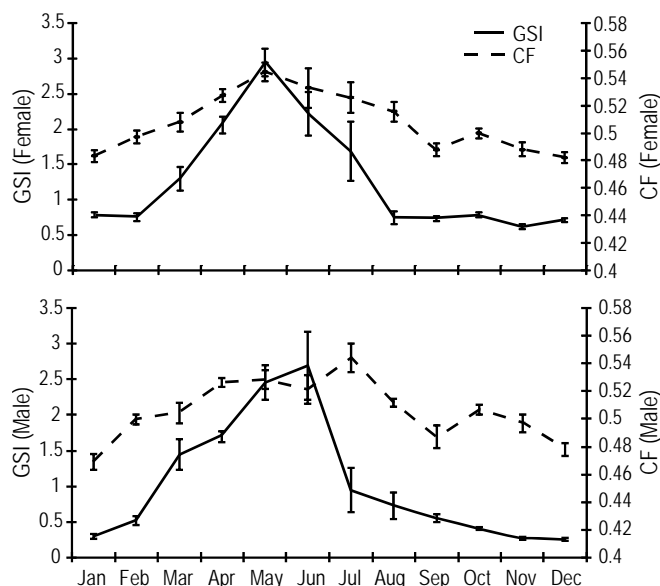


Figure 2. Monthly variation of the gonadosomatic index (GSI) and condition factor (CF) (mean \pm standard error) for female and male *Scomberomorus sierra* in the central Mexican Pacific.

Figura 2. Variación mensual del índice gonadosomático (GSI) y factor de condición (CF) (media \pm error estándar) para hembras y machos de *Scomberomorus sierra* en el Pacífico central mexicano.

vitelinas, fase en vitelogénesis primaria, fase en vitelogénesis secundaria, fase en vitelogénesis terciaria y fase madura (fig. 3a, b). Los ovarios en los estadios inmaduro y maduro presentaron ovocitos en distintas fases de desarrollo; por tanto, el ovario de *S. sierra* tiene un desarrollo asincrónico. En el testículo, se identificaron lóbulos con varios espermatocistos en diferente fase de maduración. Dentro de cada espermatocisto, los grupos de células germinales se desarrollan de manera sincrónica hasta alcanzar la etapa de espermatozoides, los cuales se desplazan al centro del lóbulo y posteriormente pasan al conducto principal (fig. 3c, d). Estas características morfológicas indican que el testículo en *S. sierra* es del tipo lobular no restringido.

Frecuencia estacional del diámetro de ovocitos

En todas las estaciones del año se observaron ovocitos pequeños (previtelogénicos). En primavera de 1998 y 1999, las frecuencias de ovocitos de diámetro mayor se incrementaron notablemente debido al proceso de vitellogenesis que ocurre en las gónadas en desarrollo y maduras. Los ovocitos presentaron un diámetro promedio de 150.9 ± 2.49 y $207.2 \pm 3.73 \mu\text{m}$ durante la primavera de 1998 y de 1999, respectivamente; estos promedios fueron relativamente mayores a los registrados en las otras estaciones (fig. 4). En la mayoría de las estaciones se presentaron ovocitos desde los más pequeños hasta los que tuvieron $350\text{--}500 \mu\text{m}$ de diámetro.

are much higher than those recorded for the other seasons (fig. 4). Oocytes, from the smallest to those of 350–500 μm in diameter, were found in most seasons.

Mean size at sexual maturity ($L_{50\%}$)

Of the total of organisms sampled, 50% of female and male *S. sierra* attained sexual maturity at 59.3 and 56.4 cm, respectively, according to the following formula: $P_{TL} = 1/[1 + e^{(aTL + b)}]$, where $a = -0.156$ and $b = 9.242$ for females and $a = -0.138$ and $b = 7.765$ for males. Ten percent of the mature organisms consisted of females and males measuring 45.3 and 40.5 cm TL, respectively, while 90% of the mature organisms consisted of females and males measuring 73.5 and 72.3 cm TL, respectively (fig. 5). The smallest female and male with developing gonads measured

Talla promedio de maduración sexual ($L_{50\%}$)

Del total de organismos muestreados, el 50% de las hembras de *S. sierra* alcanzaron la madurez sexual a los 59.3 cm y el 50% de los machos a los 56.4 cm, según la expresión $P_{LT} = 1/[1 + e^{(aLT + b)}]$, donde $a = -0.156$ y $b = 9.242$ para las hembras y $a = -0.138$ y $b = 7.765$ para los machos. El 10% de los organismos maduros consistió en hembras y machos que midieron 45.3 y 40.5 cm LT, respectivamente, mientras que el 90% consistió en hembras y machos de 73.5 y 72.3 cm LT, respectivamente (fig. 5). La hembra y el macho de menor talla con gónadas en desarrollo midieron 44.7 y 43.8 cm LT, respectivamente, y la hembra y el macho de mayor talla con gónadas inmaduras midieron 62.5 y 70.0 cm LT, respectivamente.

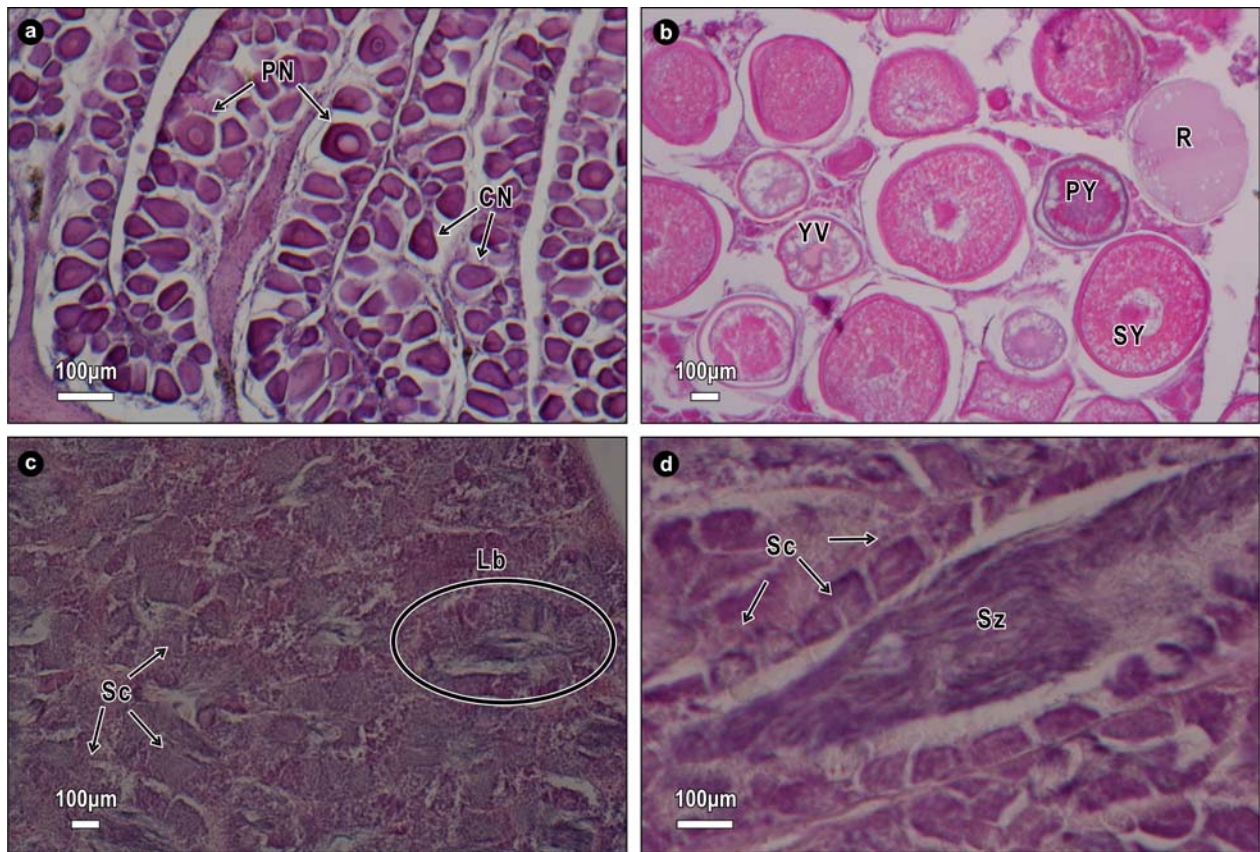


Figure 3. Transverse section of the ovary (a, b) and testis (c, d) of *Scomberomorus sierra*. (a) Immature ovary with oocytes in previtellogenesis (40 \times) and (b) ripe ovary showing oocytes in several stages of development: chromatin-nucleolus (CN), perinucleolus (PN), yolk vesicle (YV), primary yolk (PY), secondary yolk (SY), and ripe (R) (10 \times). (c) Immature testis: spermatocysts (Sc) and lobules with poor development (Lb) (10 \times). (d) Ripe testis: spermatocysts (Sc) around lobule and lobular lumen filled with spermatozoa (Sz) (40 \times).

Figura 3. Corte transversal del ovario (a, b) y testículo (c, d) de *Scomberomorus sierra*. (a) Ovario inmaduro con ovocitos en previtelogénesis (40 \times) y (b) ovario maduro con ovocitos en varias fases de desarrollo: cromatina nucléolo (CN), perinucleolo (PN), vesícula vitelina (YV), vitelogénesis primaria (PY), vitelogénesis secundaria (SY) y maduro (R) (10 \times). (c) Testículo inmaduro: espermatocistos (Sc) y lóbulos con escaso desarrollo (Lb) (10 \times). (d) Testículo maduro: espermatocistos (Sc) alrededor del lóbulo y el lumen lobular lleno de espermatozoides (Sz) (40 \times).

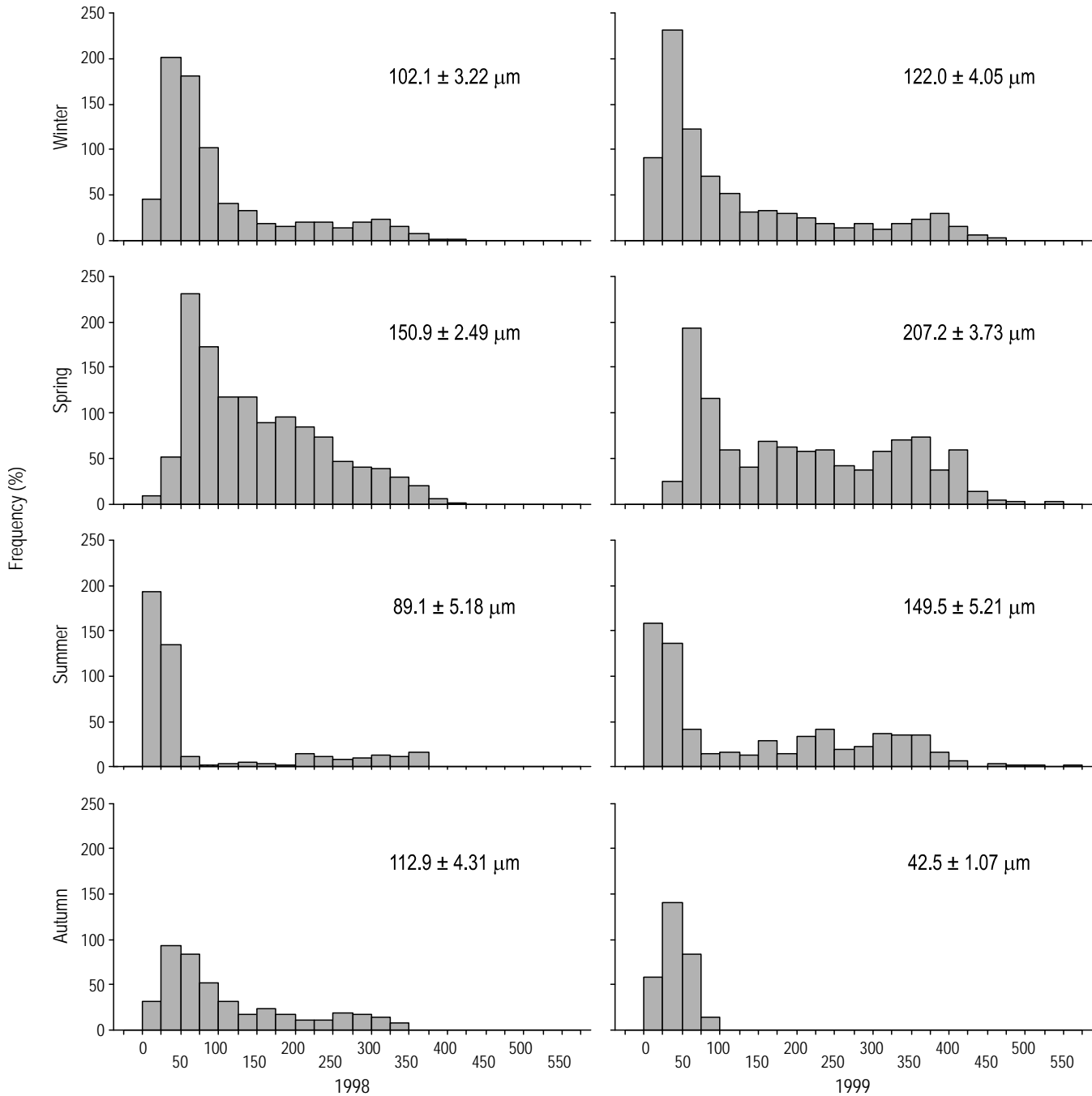


Figure 4. *Scomberomorus sierra* oocyte diameter frequency by season in 1998 and 1999 in the central Mexican Pacific. Numbers indicate mean diameter by season.

Figura 4. Frecuencia del diámetro de ovocitos de *Scomberomorus sierra* por estación en 1998 y 1999 en el Pacífico central mexicano. Los números indican el diámetro promedio por estación.

44.7 and 43.8 cm TL, respectively, and the largest female and male with immature gonads measured 62.5 and 70.0 cm TL, respectively.

DISCUSSION

The maximum size we recorded for *S. sierra* (102 cm TL) is similar to that reported in other studies (Collete 1995:

DISCUSIÓN

En este estudio, la longitud máxima que se registró para *S. sierra* (102 cm LT) es semejante a las encontradas en otros estudios (Collete 1995: 97.0 cm LF [112 cm LT]; Allen y Robertson 1998: 99 cm LF [114 cm LT]). Por otro lado, en el Golfo de California, Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) registraron una talla máxima de 74 cm LF (86.2 cm LT)

97.0 cm FL [112 cm TL]; Allen and Robertson 1998: 99 cm FL [114 cm TL]). In the Gulf of California, however, Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) recorded a maximum size of 74 cm FL (86.2 cm TL) and Medina-Gómez (2006) a maximum size of 71 cm FL (82.6 cm TL). These latter two smaller sizes can be attributed to the use of nets with smaller mesh sizes (6.35 and 88.9 mm) relative to those used in the present study (76.2, 88.9, 101.6, 114.3, and 127 mm), or to differences in the populations and/or migrations or runs of this species (Medina-Gómez 2006).

No significant differences in sex ratio were found in the study area for all the *S. sierra* sample. Similar results have been obtained for this species in Mazatlán (Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006, Medina-Gómez 2006), whereas a higher proportion of females has been found in Guaymas and La Paz (Medina-Gómez 2006). These differences can be due to the behavior of the sexes, such as using certain areas for breeding, feeding, and growth. Moreover, females of many species are known to attain larger sizes than males and depending on the fishing gear, it is possible that more individuals of one sex are caught than of another (Nikolsky 1963, Oxenford 1999).

Our results suggest that the reproductive season of *S. sierra* extends from April to June (spring). According to DOF (2010), this species reproduces in two seasons, winter and spring. In the Gulf of California, *S. sierra* females with mature gonads were found in May and June (Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006). The above findings concur in regard to the reproductive period of this species.

In the ovary of *S. sierra*, we identified the first seven of the ten stages of oocyte development described by Yamamoto and Yamazaki (1961). Studies of other species have identified the same or a smaller number of developmental stages (seven in *Lutjanus peru*, Lucano-Ramírez *et al.* 2001b; five in *Prionotus ruscarius*, Lucano-Ramírez *et al.* 2005; seven in *Pseudupeneus grandisquamis*, Lucano-Ramírez *et al.* 2006). The absence of oocytes in advanced stages of development is likely due to the fact that final maturation occurs rapidly (in a few hours) and in some cases is induced in captivity by hormonal stimulation (e.g., *Lutjanus griseus*; González *et al.* 1979).

The ovary of *S. sierra* presents an asynchronous pattern of oocyte development. This pattern has also been reported for *Scomberomorus commerson* (Mackie *et al.* 2005) and for other tropical and subtropical species, such as *Lutjanus vittus* (Davis and West 1993), *L. peru*, *P. ruscarius*, and *P. grandisquamis* (Lucano-Ramírez *et al.* 2001a, 2005, 2006). Species with asynchronous oocyte development have oocytes in different stages of development when the ovaries are mature; moreover, these species spawn several times and generally have a prolonged spawning season (Nagahama *et al.* 1995, Maack and George 1999).

There are two types of testis development: lobular and tubular. Palacios-Ceballos (1995) reported the lobular type for the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and indicated that this is the most common in teleost fish (Perciformes). This

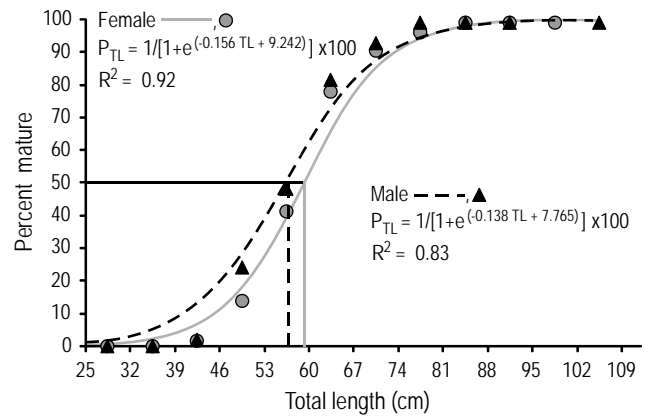


Figure 5. Cumulative percent of mature female (—) and male (---) *Scomberomorus sierra* in the central Mexican Pacific. The logistic model was fitted to the maturation values for females (circles) and males (triangles).

Figura 5. Porcentaje acumulado de hembras (—) y machos (---) maduros de *Scomberomorus sierra* en el Pacífico central mexicano. El modelo logístico se ajustó a los valores de maduración de hembras (círculo) y machos (triángulo).

y Medina-Gómez (2006), una talla máxima de 71 cm LF (82.6 cm LT). Las tallas menores de estos últimos dos estudios pueden ser el efecto del empleo de redes de menor luz de malla (6.35 y 88.9 mm) con respecto a las utilizadas en esta investigación (76.2, 88.9, 101.6, 114.3 y 127 mm), o de diferencias en las poblaciones y/o las migraciones o corridas de esta especie (Medina-Gómez 2006).

En el área de estudio no se encontraron diferencias significativas en la proporción de sexos para toda la muestra de *S. sierra*. Se han registrado resultados similares para esta misma especie en Mazatlán (Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006, Medina-Gómez 2006), mientras que en Guaymas y La Paz se observó una mayor proporción de hembras (Medina-Gómez 2006). Estas diferencias pueden deberse a la conducta que pueden tener los sexos, como utilizar ciertas área para su crecimiento, alimentación y reproducción. Además, se sabe que en muchas especies las hembras son de mayor talla que los machos y según las artes de pesca, es posible que se capturen más organismos de un sexo que de otro (Nikolsky 1963, Oxenford 1999).

Los resultados de esta investigación sugieren que el periodo de reproducción de *S. sierra* es de abril a junio (primavera). Según la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010), la sierra se reproduce en dos temporadas, invierno y primavera. En el Golfo de California, Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) encontraron hembras de *S. sierra* con gónadas maduras en mayo y junio. En conjunto, los resultados coinciden al señalar un mismo periodo reproductivo para la sierra.

En el ovario de *S. sierra*, se identificaron las primeras siete fases de desarrollo del ovocito de un total de diez que consideran Yamamoto y Yamazaki (1961). Los estudios de otras especies han identificado un número igual o menor de fases de desarrollo del ovocito (siete en *Lutjanus peru*,

type of development has been observed in *S. sierra* and other Perciformes like *L. peru*, *P. ruscarius*, and *P. grandisquamis* (Lucano-Ramírez *et al.* 2001a, 2005, 2006).

In this study we obtained a mean size at sexual maturity ($L_{50\%}$) for female *S. sierra* of 59.3 cm TL. For this same species, Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) reported a $L_{50\%}$ of 44.3 cm FL (52.1 cm TL), and this slight difference can be attributed to the smaller mesh net (6.35 mm) used in their study or to the sampling of two different populations. In the present study, the smallest female with mature gonads measured 37.5 cm TL. Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) reported a size of 31.8 cm FL (37.7 cm TL) for the Gulf of California.

According to DOF (2010), *S. sierra* attains sexual maturity at 45–50% of maximum body size, corresponding to an age of three or four years, and according to Medina-Gómez (2006), these ages correspond to individuals measuring 35–40 and 38–43 cm FL (41.4–47.1 and 44.8–50.6 cm TL), respectively. In this study we found that most individuals of this size were immature and only some were mature. Medina-Gómez (2006) reported sizes of 43–47 and 48–52 cm FL (50.6–55.2 and 56.3–60.9 cm TL) for organisms five and six years of age, respectively, and based on this, we consider that the $L_{50\%}$ obtained in the present study corresponds to five- and six-year-old organisms.

Our findings indicate that the organisms caught with the 101.6-mm mesh size net had reproduced at least once; this observation is in agreement with DOF (2010). It is therefore likely that the landings made using nets with mesh sizes smaller than 101.6 mm include many organisms that have not undergone at least one reproductive event (juveniles).

From 71% to 74% of the individuals of *S. sierra* had a length that was smaller than the mean maturation size ($L_{50\%}$); that is, the catch was composed mainly of juvenile fish. If this fact is affecting the status of the sierra fishery in the region, the implementation of management measures would be recommendable to ensure the rational exploitation of the resource. The current status of the sierra fishery on the Pacific coast of central and southern Mexico (Nayarit to Chiapas) shows potential for development. It would be advisable to implement a minimum catch size of 50 cm TL and restrict the use of gillnets with mesh sizes of 8.125 and 8.75 cm (3.25 and 3.5 inches). Further studies on the migration and reproductive biology of the species are also required.

English translation by Christine Harris.

REFERENCES

- Al-Zibdah M, Odat N. 2007. Fishery status, growth, reproduction biology and feeding habit of two scombrid fish from the Gulf of Aqaba Red Sea. *Leban. Sci. J.* 8: 3–20.
- Allen GR, Robertson DR. 1998. *Peces del Pacífico Oriental Tropical*. Crawford House Publishing, pp. 276–277.
- Aguirre-Villaseñor H, Morales-Bojórquez E, Morán-Angulo RE, Madrid-Vera J, Valdez-Pineda MC. 2006. Indicadores

Lucano-Ramírez *et al.* 2001b; cinco en *Prionotus ruscarius*, Lucano-Ramírez *et al.* 2005; siete en *Pseudupeneus grandisquamis*, Lucano-Ramírez *et al.* 2006). El hecho de que no se hayan observado ovocitos en fases de maduración avanzada probablemente se debe a que las últimas fases de desarrollo ocurren rápidamente (en pocas horas) y en algunos casos se han inducido en cautiverio con estimulación hormonal (e.g., *Lutjanus griseus*; González *et al.* 1979).

El ovario de *S. sierra* presenta un patrón de desarrollo de los ovocitos de tipo asincrónico. Este patrón también se presenta en *Scomberomorus commerson* (Mackie *et al.* 2005) y en otras especies que se distribuyen en el trópico y subtropical, tales como *Lutjanus vittus* (Davis y West 1993), *L. peru*, *P. ruscarius* y *P. grandisquamis* (Lucano-Ramírez *et al.* 2001a, 2005, 2006). Las especies cuyas gónadas tienen desarrollo asincrónico presentan ovocitos en diferentes fases de desarrollo cuando los ovarios están maduros; además, estas especies desovan en varias ocasiones y generalmente tienen una temporada reproductiva prolongada (Nagahama *et al.* 1995, Maack y George 1999).

Existen dos tipos de desarrollo del testículo: lobular y tubular. Palacios-Ceballos (1995) encontró el tipo lobular en la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*, y menciona que éste es el más común en peces teleosteos (Perciformes). Este tipo de desarrollo se observó en *S. sierra* y en otros Perciformes como *L. peru*, *P. ruscarius* y *P. grandisquamis* (Lucano-Ramírez *et al.* 2001a, 2005, 2006).

En este estudio, la talla promedio de maduración sexual ($L_{50\%}$) en las hembras de *S. sierra* fue de 59.3 cm TL. Para esta misma especie, Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) obtuvieron una $L_{50\%}$ de 44.3 cm LF (52.1 cm LT). Esta ligera diferencia puede deberse a que estos últimos autores emplearon redes de menor luz de malla (6.35 mm) o al muestreo de dos poblaciones diferentes. En el presente trabajo, la hembra de menor talla con gónadas maduras midió 37.5 cm LT. Aguirre-Villaseñor *et al.* (2006) registraron una talla de 31.8 cm LF (37.7 cm LT) para el Golfo de California.

Según la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010), *S. sierra* llega a la madurez sexual cuando alcanza entre el 45% y 50% de la talla máxima, lo que corresponde a una edad de tres a cuatro años y, según Medina-Gómez (2006), estas edades corresponden a individuos con tallas de 35–40 y 38–43 cm LF (41.4–47.1 y 44.8–50.6 cm LT), respectivamente. Con base en lo encontrado en el presente trabajo, la mayoría de los organismos con estas tallas eran inmaduros y sólo algunos eran maduros. Medina-Gómez (2006) reportaron que los organismos de cinco y seis años presentaron tallas de 43–47 y 48–52 cm LF (50.6–55.2 y 56.3–60.9 cm LT), respectivamente, y, con base en esto, se considera que la $L_{50\%}$ del presente estudio corresponde a organismos de cinco y seis años.

Los resultados del presente trabajo indican que los organismos capturados con la red de 101.6 mm de luz de malla ya se reprodujeron por lo menos una vez; esta observación

- biológicos de la pesquería de sierra (*Scomberomorus sierra*) al sur del Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 32: 471–484.
- Cerisola H. 1984. Cambios estructurales del folículo ovárico durante su maduración en el pejesapo *Sicyases sanguineus*, Muller y Troschel 1843 (Gobiococidae: Teleostei). *Rev. Biol. Mar. (Valparaíso)* 20: 1–21.
- Claereboudt MR, McIlwain JL, Al-Oufi HS, Ambu-Ali AA. 2005. Patterns of reproduction and spawning of the kingfish (*Scomberomorus commerson*, Lacépède) in the coastal waters of the Sultanate of Oman. *Fish. Res.* 73: 273–282.
- Collete BB. 1995. Atunes, bacoretas, bonitos, caballas, estorninos, melva. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Vol. III. Vertebrados: Parte 2, pp. 1521–1543.
- Davis TL, West GJ. 1993. Maturation, reproductive seasonality, fecundity and spawning frequency in *Lutjanus vittus* (Quoy and Gaimard) from the North West Shelf of Australia. *Fish. Bull.* 91: 224–236.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2010. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, México), 2 de diciembre de 2010. Segunda sección, pp. 69–71.
- Grandcourt EM, Al Abdessalaam TZ, Francis F, Al Shamsi AT. 2005. Preliminary assessment of the biology and fishery for the narrow-barred Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson* (Lacépède 1800), in the southern Arabian Gulf. *Fish. Res.* 76: 277–290.
- González E, Damas T, Millares N, Borrero M. 1979. Desove inducido en el caballerote (*Lutjanus griseus* Linné 1758) en condiciones de laboratorio. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 4: 43–63.
- Hernández-Olalde L. 2008. Ecología reproductiva de peces de arrecife rocoso en el sureste del Golfo de California. Ph.D. thesis, CICIMAR, IPN, La Paz, BCS, México, 199 pp.
- Holden MJ, Raitt DFS. 1975. Manual of fisheries science. Part 2. Methods of resource investigations and their application. FAO Fish. 115: 1–214.
- Hyder M. 1969. Histological studies on the testis of *Tilapia leucosticta* and other species of the genus *Tilapia* (Pisces: Teleostei). *Trans. Am. Microsc. Soc.* 88: 211–231.
- Lucano-Ramírez G, Villagrán-Santa Cruz M, Ruiz-Ramírez S. 2001a. Cambios estructurales en las gónadas de *Lutjanus peru* (Pisces: Lutjanidae), en la costa sur de Jalisco, México. *Bol. Centro Invest. Biol.* 35: 295–316.
- Lucano-Ramírez G, Villagrán-Santa Cruz M, Ruiz-Ramírez S, López-Trujillo MT. 2001b. Histología de los ovocitos de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy 1922) (Pisces: Lutjanidae). *Cienc. Mar.* 27: 335–349.
- Lucano-Ramírez G, Ruiz-Ramírez S, Rojo-Vázquez JA. 2005. Biología reproductiva de *Prionotus ruscarius* (Pisces: Triglidae) en las costas de Jalisco y Colima, México. *Rev. Digital Univ.* 6: 1067–1079.
- Lucano-Ramírez G, Ruiz-Ramírez S, Rojo-Vázquez JA. 2006. Composición por tallas y ciclo reproductivo de *Pseudupeneus grandisquamis* (Pisces: Mullidae) en el Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 54: 195–207.
- Maack G, George MR. 1999. Contributions to the reproductive biology of *Encrasicholina punctifer* Fowler, 1938 (Engraulidae) from West Sumatra, Indonesia. *Fish. Res.* 44: 113–120.
- Mackie MC, Lewus PD, Gaughan DJ, Newman SJ. 2005. Variability in spawning frequency and reproductive development of the narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) along the west coast of Australia. *Fish. Bull.* 103: 344–354.
- Medina-Gómez SP. 2006. Edad y crecimiento de la sierra del Pacífico *Scomberomorus sierra* (Jordan y Starks 1895) en el coincide con la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010). Con base en lo anterior, es muy probable que las capturas que se realizan con redes de luz de malla menor que 101.6 mm incluyan, en su mayoría, organismos que no han tenido al menos un evento reproductivo (jóvenes).
- Entre el 71% y 74% de los individuos capturados de *S. sierra* presentaron una talla menor que la longitud promedio de maduración sexual ($L_{50\%}$); es decir, la captura estuvo integrada principalmente por organismos jóvenes. Si este hecho está afectando la situación pesquera del recurso sierra en esta zona, sería recomendable aplicar medidas de regulación pesquera que contribuyan a una explotación racional de esta especie. El estado actual de esta especie en la región centro-sur (Nayarit a Chiapas) de México se identifica como con potencial de desarrollo. Se recomienda establecer una talla mínima de captura de 50 cm LT y restringir el uso de redes agalleras de 8.125 y 8.75 cm (3.25 y 3.5 pulgadas) de luz de malla. También es recomendable desarrollar estudios de la migración y biología reproductiva.
-
- Golfo de California, México. M.Sc. thesis, CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México, 61 pp.
- Nagahama Y, Yoshikuni M, Yamashita T, Tokumoto M, Katsu Y. 1995. Regulation of oocyte growth and maturation in fish. *Curr. Top. Dev. Biol.* 30: 103–145.
- Nikolsky G. 1963. *The Ecology of Fishes*. Academic Press, London, 352 pp.
- Oxenford HA. 1999. Biology of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: A review. *Sci. Mar.* 63: 277–301.
- Palacios-Ceballos R. 1995. Estudio del patrón espermatogénico de la tilapia del nilo *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). B.Sc. dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México, 42 pp.
- Rojo-Vázquez JA. 1997. Selectividad y eficiencia de redes de enmalle en Bahía de Navidad, Jalisco, México. M.Sc. thesis, IPN, CICIMAR, La Paz, BCS, México, 83 pp.
- Rojo-Vázquez JA, Ramírez-Rodríguez M. 1997. Composición específica de la captura con redes de enmalle en Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Oceanides* 12: 121–126.
- Rojo-Vázquez JA, Aguilar-Palomino B, Galván-Piña VH, Godínez-Domínguez E, Hernández-Vázquez S, Ruiz-Ramírez S, Lucano-Ramírez G. 2001. Ictiofauna de la pesquería en Bahía de Navidad, Jalisco, México, asociada al evento de El Niño 1997–1998. *Rev. Biol. Trop.* 49: 915–929.
- Rojo-Vázquez JA, Quiñones-Velázquez C, Echavarría-Heras HA, Lucano-Ramírez G, Godínez-Domínguez E, Ruiz-Ramírez S, Galván-Piña VH, Sosa-Nishizaki O. 2008. The fish species composition and variation of catch from the small-scale gillnet fishery before, during and after the 1997–1998 ENSO event, central Mexican Pacific. *Int. J. Trop. Biol.* 56: 133–152.
- Ruiz-Durá MF. 1985. Recursos Pesqueros de las Costas de México. Limusa, México, 208 pp.
- Sadeghi MS, Kaymaram F, Jamili S, Fatemi MR, Mortazavi MS. 2009. Patterns of reproduction and spawning of the *Scomberomorus commerson* in the coastal waters of Iran. *J. Fish. Aquat. Sci.* 4: 32–40.
- Santos-Martínez, A. 1989. Estudio biológico y ecológico de la ictiofauna de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe

- Colombiano. M.Sc. thesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 75 pp.
- Schmidt DJ, Collins MR, Wyanski DM. 1993. Age, growth, maturity, and spawning of Spanish mackerel, *Scomberomorus maculatus* (Mitchill), from the Atlantic coast of the southeastern United States. *Fish. Bull.* 91: 526–533.
- Silva GC, Leal AC, Gubiani EA. 2005. Estrutura populacional e indicadores reprodutivos de *Scomberomorus brasiliensis* Collette, Russo e Zavala-Camin, 1978 (Perciformes: Scombridae) no litoral occidental maranhense. *Acta Sci. Biol.* 27: 383–389.
- Sturm MG, Salter P. 1989. Age, growth, and reproduction of the king mackerel *Scomeromorus cavalla* (Cuvier) in Trinidad waters. *Fish. Bull.* 88: 361–370.
- Valdovinos-Jacobo LA. 2006. Edad, crecimiento y mortalidad de la sierra del golfo *Scomberomorus concolor* (Lockington, 1879) en el Golfo de California. M.Sc. thesis, CICIMAR-IPN, La Paz, BCS, México, 60 pp.
- Yamamoto K, Yamazaki M. 1961. Rhythm of development in the oocyte of the gold-fish, *Carassius Auratus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 12: 93–114.
- Zar J.H. 1999. *Bioestatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

*Received October 2010;
accepted May 2011.*