

Research Article

Período de desove y fecundidad del pez espada (*Xiphias gladius*) capturado en el Pacífico suroriental

Gabriel Claramunt¹, Gustavo Herrera¹, Miguel Donoso² & Enzo Acuña³

¹Departamento Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Casilla 121, Iquique, Chile

²Instituto de Fomento Pesquero, Blanco 839, Valparaíso, Chile

³Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

RESUMEN. Se entregan resultados de la biología reproductiva del pez espada capturado frente a la costa chilena. Se realizaron muestreos biológicos en la zona económica exclusiva y alta mar adyacente a las islas de Pascua, Salas y Gómez, San Félix y San Ambrosio, entre febrero de 2001 y enero de 2002 y fueron sometidos a análisis histológicos. Los registros mensuales de hembras sexualmente activas, la frecuencia de estadios ováricos y el índice gonádico, muestran la mayor actividad reproductiva circunscrita a la época estival, durante enero y febrero. Mediante el análisis de la distribución de frecuencia de ovocitos, se observa una separación de la moda más avanzada alrededor de 600 μm ; si se considera como fecundidad parcial a los ovocitos mayores a este diámetro y la fecundidad varía entre 0,5 y 31 millones de ovocitos para ejemplares de 217 y 303 cm de la longitud mandíbula inferior a horquilla respectivamente. Los resultados indican evidencias que podría ser un pez sincrónico por grupo, ya que entre otras características, en algunos ejemplares existe una discontinuidad entre ovocitos maduros e inmaduros.

Palabras clave: madurez gonadal, índices gonádicos, histología, fecundidad, pez espada, Pacífico suroriental.

Spawning period and fecundity of swordfish (*Xiphias gladius*) caught in the southeastern Pacific

ABSTRACT. This study presents the reproductive biology of the swordfish caught off the Chilean coast. Biological samples were taken in the economic exclusive zone and oceanic areas adjacent to Easter Island, Salas y Gómez Island, and San Félix and San Ambrosio islands between February 2001 and January 2002 and subjected to histological analysis. The monthly records of reproductively active females, the frequency of ovarian stages, and the gonadosomatic index show that spawning activity is greatest in austral summer, during January and February. An analysis of the oocyte frequency distributions revealed a separation of the most advanced mode around 600 μm if taking partial fecundity to be oocytes larger than 600 μm and if the fecundity varies between 0.5 and 31 million oocytes for females with 217 and 303 cm of lower jaw to fork length, respectively. The results indicate that the swordfish could be synchronous by group because, amongst their other characteristics, some specimens show a discontinuity between mature and immature oocytes.

Keywords: gonadal maturity, gonadosomatic index, histology, fecundity, swordfish, southeastern Pacific.

Corresponding author: Gabriel Claramunt (gclaramu@unap.cl)

INTRODUCCIÓN

El pez espada, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758 es una especie cosmopolita de aguas tropicales, templadas y a veces frías de todos los océanos, incluyendo los mares Mediterráneo, Mármara, Negro y Azov, cuyos límites de distribución son 45°N y 45°S (Palko *et al.*, 1981).

Numerosos autores concuerdan en que su distribución estaría fuertemente condicionada por la temperatura, y la pesquería pelágica chilena de esta especie tiene una clara relación con ésta, como lo demostraron Yáñez *et al.* (1994) al detectar probables áreas de pesca mediante el uso de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (SST).

Los estudios reproductivos en peces, tales como la determinación de la talla de primera madurez, la duración de la estación de desove y la fecundidad, requieren el conocimiento del estado de desarrollo gonadal de cada individuo. La determinación de estos aspectos y particularmente de las fases de madurez sexual, debe ser considerada siempre en un programa de estudio de la biología reproductiva de un pez. Los métodos utilizados varían desde la histología, el más detallado pero más demoroso, hasta la inspección visual macroscópica según la apariencia externa de la gónada, menos fino, pero más rápido. Entre éstos, se encuentra la medición del tamaño ovocitario y apariencia de los ovocitos, y el índice gonádico (West, 1990).

Yabe *et al.* (1959), Kume & Joseph (1969), Shingu *et al.* (1974), Weber & Goldberg (1986), Miyabe & Bayliff (1987) y Nakano & Bayliff (1992) han estudiado la maduración del pez espada en el Pacífico oriental. Todos estos autores utilizaron como índice de madurez al índice gonádico, una relación del peso de las gónadas con el peso o el cubo de su longitud, considerado como maduras a las hembras con índices gonádicos igual o superior a 3 (Kume & Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974), mientras que Miyabe & Bayliff (1987) y Nakano & Bayliff (1992) consideraron como maduras sólo a las hembras con índices gonádicos iguales o superiores a 7.

Respecto de la estrategia reproductiva del pez espada, en la literatura existen contradicciones. Según Taylor & Murphy (1992) sería un pez desovante sincrónico por grupo, esto es que en el ovario están presente al mismo tiempo al menos dos grupos de tamaño de ovocitos, siendo el grupo mayor usualmente más homogéneo que el menor. Sin embargo, Murua & Saborido-Rey (2003) y Arocha (2002) lo clasifican como un pez con organización ovárica asincrónica, tipo de fecundidad indeterminada y patrón de desove parcial en tandas.

Estudios sobre aspectos reproductivos de pez espada en el Pacífico suroriental son escasos, En el presente trabajo se entregan los resultados de un estudio de los principales aspectos de la biología reproductiva del pez espada capturado frente a la costa chilena, considerando la validación de índices gonádicos, época reproductiva, fecundidad y consideraciones sobre su modalidad reproductiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos biológicos de la flota palanquera que operó en la zona económica exclusiva (ZEE) y alta mar adyacente a las islas de Pascua, Salas y

Gómez, San Félix y San Ambrosio, entre febrero de 2001 y enero de 2002.

A bordo luego de su captura, a todos los ejemplares se les efectuaron las mediciones de Longitud Mandíbula Inferior a Horquilla (LMIH). Sin embargo, no fue posible registrar el peso de los ejemplares a bordo. Se les extrajeron las gónadas (hembras y machos), las cuales fueron fijadas inmediatamente en una solución de formaldehído al 10% tamponada, para evitar procesos de autólisis o destrucción del tejido. El número de especímenes analizados para la obtención de índices macroscópicos de madurez y el análisis histológico se presenta en Tabla 1.

Como criterio macroscópico para definir el período de máxima actividad reproductiva se utilizó un índice basado en una expresión de volumen corporal, esto es el cubo de la LMIH dado que no se cuenta con el peso (total o tronco) de los ejemplares analizados y meses. El índice utilizado fue:

$$IG = \frac{G}{(LMIH)^3} 1000$$

donde G es el peso de la gónada (ovario o testículo).

El análisis histológico del tejido gonadal se realizó aplicando técnicas histológicas de rutina. Cortes finos de 5 µm de espesor provenientes de submuestras de ovario y testículos de 3 mm de grosor, postfijadas en solución Bouin, fueron incluidas en paraplast y teñidas con hematoxilina de Harris-eosina y se montaron con entellán en portaobjetos esmerilados.

Las variaciones de la condición reproductiva se determinaron a través del análisis de la distribución mensual de los estadios de madurez de las gónadas, aplicando escalas microscópicas. Taylor & Murphy (1992) aplicaron para *Xiphias gladius* una escala de ocho estadios según los criterios señalados por Wallace & Selman (1981) y Hunter & Macewicz (1985) en hembras y en machos la propuesta en Grier (1981). Sin embargo, de acuerdo al material analizado se ajustó la escala según los criterios de Murphy & Taylor (1990), la que se entrega para hembras y machos (Tabla 2).

De los diagnósticos morfohistológicos llevados a cabo en los preparados ováricos y testiculares, se diferenciaron los estadios de madurez microscópica. En hembras se utilizó como criterio para discernir hembras con actividad gonadal aquellas que se clasificaron en estadios 3 a 6 y hembras inactivas a las en estadios 1, 2 y 7. Para los machos el criterio de separación entre activos e inactivos fue de estadios 3 y 4, y estadios 1, 2 y 5 respectivamente.

Tabla 1. Número de ejemplares analizados de *Xiphias gladius* entre febrero de 2001 y enero 2002.

Table 1. Number of individuals analyzed of *Xiphias gladius* between February 2001 and January 2002.

Mes	Índices macroscópicos		Histología	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Febrero 2001	87	91	65	86
Marzo	265	150	92	113
Abril	277	114	106	51
Mayo	285	276	78	46
Junio	424	397	108	109
Julio	405	357	99	101
Agosto	305	219	96	97
Septiembre	570	384	91	94
Octubre	506	278	108	103
Noviembre	558	236	109	98
Diciembre	132	49	76	37
Enero 2002	95	6	53	4
Total	3909	2557	1081	939

Debido al bajo número de hembras en estado hidratado, la fecundidad se estimó a partir de la determinación de la distribución de frecuencia del tamaño de ovocitos en ovarios en estado de madurez avanzada ($N = 26$). Una submuestra de tejido ovárico fue pesada (0,0001 g de precisión), se disgregaron los ovocitos y se separaron por clase de tamaño mediante una batería de tamices, con un rango de 200 a 1000 μm a intervalos de 50 μm , con arrastre en agua en un sistema de vibración. Los ovocitos retenidos en cada tamiz fueron contados bajo estereomicroscopio. Con el número de ovocitos en la submuestras correspondiente a la moda más avanzada se calculó la fecundidad parcial, expandiendo a la gónada completa. Para este análisis sólo se consideran aquellos ovarios intactos que se encontraban en un estado avanzado de vitelogénesis y sin evidencia de desove reciente, quedando 21 ovarios aptos.

RESULTADOS

Validación índices macroscópicos

En hembras de *Xiphias gladius*, la relación entre el peso del ovario y el índice de tamaño corporal utilizado (cubo de la LMIH) mostró una relación lineal en todos los estadios de madurez ovárica (Fig. 1), con excepción del estadio 5 donde la relación

lineal no fue significativa ($p > 0,05$; Tabla 3). Sin embargo, esto es explicado debido a la alta variabilidad en el peso del ovario producto de la hidratación. En machos, aún cuando se observó una mayor dispersión, se mantuvo una relación de tipo lineal (Fig. 2), siendo todas significativas ($p < 0,05$; Tabla 4).

Período reproductivo

La evolución del índice gonádico en hembras (Fig. 3) mostró un máximo centrado en enero y febrero. La misma situación se observó en el índice testicular de los machos (Fig. 4), aún cuando presentó un comportamiento más errático.

Aplicando como criterio de análisis para las hembras, índices de actividad ovárica (agrupación de especímenes con presencia de ovocitos en diferentes grados de vitelación como también con vesícula migrante; hidratados o con evidencia de desove reciente), se encontró que la mayor incidencia de hembras sexualmente activas ocurrió durante enero y febrero (Fig. 5). Esta funcionalidad ovárica estuvo representada principalmente por hembras hidratadas y en actividad de desove en ese período. En los machos, la máxima funcionalidad testicular y emisión de espermatozoides se circunscribió de enero a marzo (Fig. 6), situación representada por la gran incidencia temporal de individuos en espermatogénesis, tanto en progresión como avanzada y emisión. El análisis anterior hace presumir la existencia de sincronía funcional entre los sexos.

Fecundidad

Las distribuciones de frecuencia de tamaños de ovocitos por estadios de madurez microscópica muestran en general más de una moda, presentándose una separación alrededor de los 550 a 600 μm (575 μm de marca de clase, Fig. 7). Aplicando el criterio propuesto por Taylor & Murphy (1992) de estimar la fecundidad en base a los ovocitos $> 750 \mu\text{m}$ en ejemplares en estadios V y VI ($n = 21$), las estimaciones de fecundidad parcial variaron de 197.692 a 16 millones de huevos para longitudes de 217 a 303 cm (Fig. 8), siendo significativa la relación (Tabla 5). Sin embargo, a través del análisis de las distribuciones de frecuencias se observa una separación de la moda más avanzada alrededor de los 600 μm y si se considera como fecundidad parcial a los ovocitos mayores a este diámetro la relación mejora notablemente (Tabla 5; Fig. 9), fluctuando la fecundidad entre 0,5 y 31 millones de ovocitos para ejemplares de 217 y 303 cm de LMIH respectivamente.

Tabla 2. Criterios histológicos en la clasificación de estadios gonadales *Xiphias gladius* (modificado de Murphy & Taylor).

Table 2. Histological criteria for gonadal stages classification of *Xiphias gladius* (modified from Murphy & Taylor, 1990).

Estadio	Caracterización microscópica
Hembras	
1: Virginal	Numerosos nidos ovogoniales y escasos ovocitos primitivos. Lamelas ausentes. Tabiques fibroconectivos dependientes de la pared ovárica.
2: Inmaduro	Lamelas con ovocitos primarios. Escasos ovocitos previtelogénicos tardíos, en los que debuta la presencia de vesículas periféricas. Tabiques gruesos y ramificados. Delgadas células foliculares.
3: Vitelado parcial	Vitelogénesis temprana con predominio de ovocitos en estado inicial de deposición de vitelo, sin sobrepasar el 75% del citoplasma. Franco desarrollo de la zona radiata y células foliculares.
4: Vitelado	Predominio de ovocitos en vitelación tardía, manteniendo la vesícula germinativa en posición central. Vesículas lipídicas dispersas en el citoplasma. Zona radiata prominente y células foliculares cúbicas bajas.
5: En maduración o hidratado	Presencia de ovocitos cargado con glóbulos de vitelo (fin deposición) con vesícula germinativa migrante. Presencia de ovocitos hialinos.
6: En desove	Presencia de folículos postovulatorios y ovocitos hidratados que pueden coexistir entre ovocitos primarios y escasos ovocitos en algún grado de la vitelación. Atresia insipiente. Pared ovárica gruesa.
7: Desovado	Ovocitos vitelados remanentes y atresia folicular (alfa y/o beta). Notoria presencia de ovogonias y ovocitos primarios entre septos conjuntivos. Ovocitos vitelados residuales.
Machos	
1: Virginal	Tejido germinal desorganizado, sin desarrollo lobular, apreciándose nidos espermatozonales primarios.
2: Inmaduro	Espermatogénesis temprana con presencia de cistos espermatozonales primarios y numerosos secundarios. Es posible encontrar pequeños cistos con espermatozoides leptotéticos dispersos sin alcanzar la fase meiótica. Lóbulos con lumen estrecho. Albuginea gruesa.
3: En maduración	Espermatogénesis en progresión. Compartimento espermatozonal en reducción. Predominio de espermatozoides (zigoteno y paquiteno), pudiendo presentarse espermatozoides secundarios. Escasa presencia de espermatozoides y espermatozoides en cistos o en el lumen lobular. Ausentes en ductos espermáticos.
4: Madurez avanzada y emisión	Espermatogénesis avanzada, predominando espermatozoides y espermatozoides. El estado está definido por la abundancia de cistos con espermatozoides y por la masa espermatozoal presente en los ductos testiculares. Coexisten cistos en fases temprana de la espermatogénesis. Albuginea delgada.
5: En Regresión o recuperación	Albuginea gruesa y plegada. Lóbulos alineados con lumen amplio y pared delgada donde alojan espermatozonias y espermatozoides primarios.

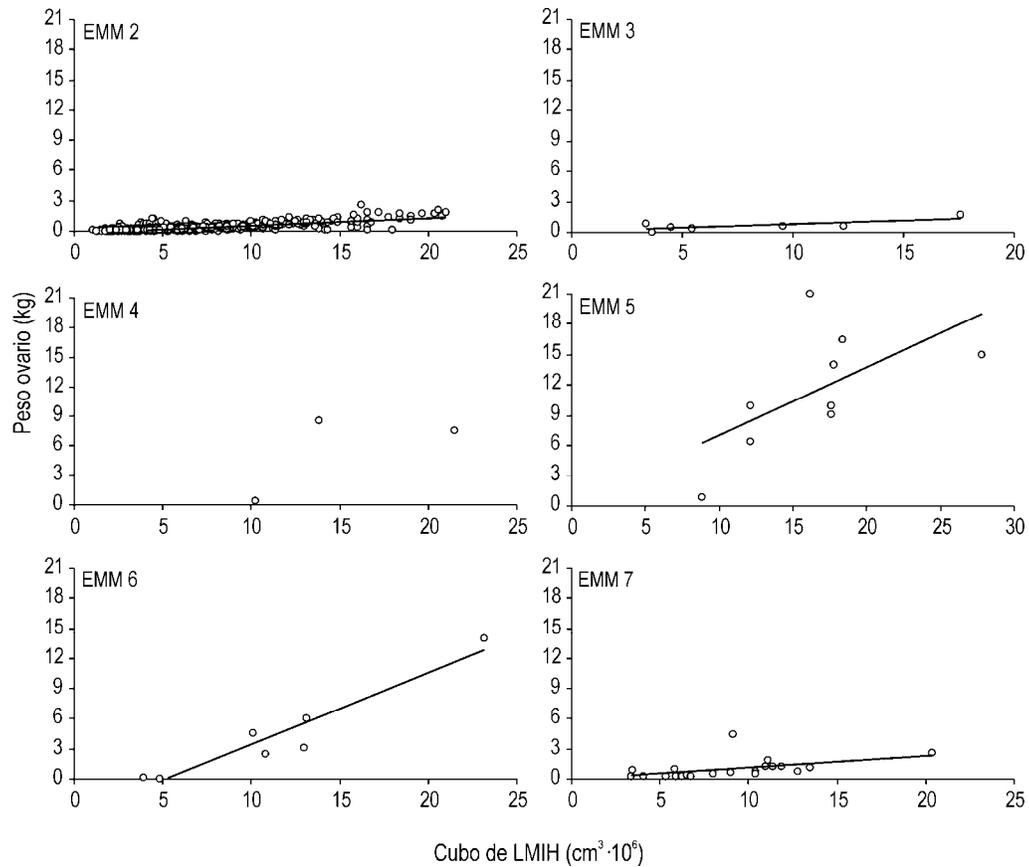


Figura 1. Relación entre el cubo de la Longitud Mandíbula Inferior Horquilla (LMIH) y el peso del ovario agrupado por estadio de desarrollo ovárico. EMM: estadios de madurez microscópico.

Figure 1. Relationship between LJFL³ (Lower-Jaw Fork Length) and the weight of the ovary grouped by maturity stages. EMM: microscopic maturity stages.

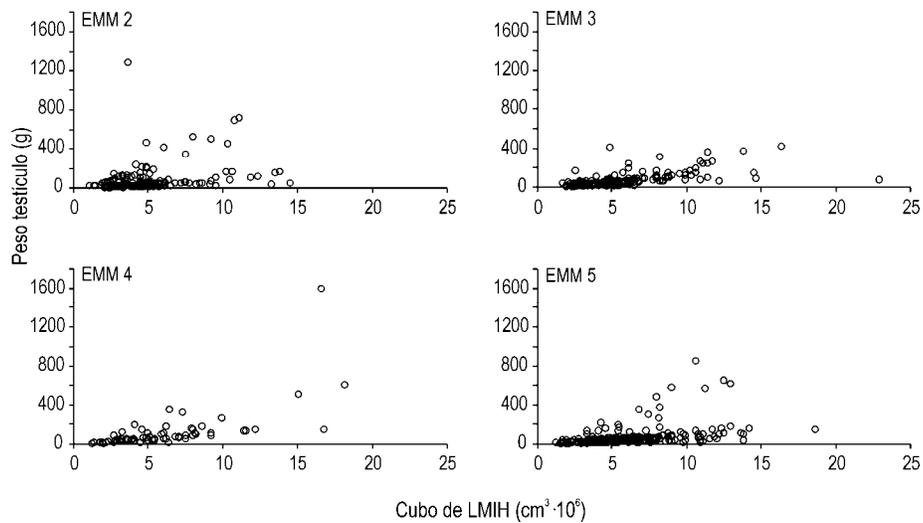


Figura 2. Relación entre el cubo de la Longitud Mandíbula Inferior Horquilla (LMIH) y el peso del testículo agrupados por estadio de desarrollo EMM: estadios de madurez microscópico.

Figure 2. Relationship between LJFL³ (Lower-Jaw Fork Length) and the weight of the testis grouped by maturity stages. EMM: microscopic maturity stages.

Tabla 3. Resultado de la regresión entre el cubo de la longitud (Mandíbula inferior a horquilla) y el peso del ovario según estadio de madurez microscópica (EMM). Desviación estándar del parámetro en paréntesis. n: número de individuos, r: coeficiente de regresión, p: probabilidad.

Table 3. Summary of the results between the cube of Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and the ovary weight regression, according to the maturity stage (EMM). Standard deviation in parenthesis. n: individual numbers, r: regression coefficient, p: probability.

EMM	Intercepto		Pendiente (10^{-4})		n	r	p
2	-155,4	(13,06)	0,743	(0,0180)	872	0,81	0
3	56,6	(245,47)	0,760	(0,2595)	7	0,79	0,03
4	-	-	-	-	3	-	-
5	339,9	(5755,68)	6,714	(3,3333)	9	0,61	0,08
6	-3733,1	(1263,92)	7,160	(0,9930)	7	0,96	0
7	-92,4	(486,12)	1,200	(0,5005)	21	0,48	0,03

Tabla 4. Resultado de la regresión entre el cubo de la longitud (Mandíbula inferior a horquilla) y el peso del testículo según estadio de madurez microscópica (EMM). Desviación estándar del parámetro en paréntesis. n: número de individuos, r: coeficiente de regresión, p: probabilidad.

Table 4. Summary of the results between the cube of Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and the testis weight regression, according to the maturity stage (EMM). Standard deviation in parenthesis. n: individual numbers, r: regression coefficient, p: probability.

EMM	Intercepto		Pendiente (10^{-5})		N	r	p
2	-8,5	(22,27)	1,7	(0,401)	185	0,29	0
3	-19,12	(7,59)	1,5	(0,123)	214	0,64	0
4	-108,2	(37,59)	3,7	(0,538)	68	0,65	0
5	-34,6	(10,80)	1,6	(0,172)	327	0,45	0

Tabla 5. Resultados de la regresiones entre la longitud (Mandíbula inferior horquilla) y la fecundidad, considerando ovocitos > 600 > 750 y > 250 micrones (total). Desviación estándar del parámetro en paréntesis. n: número de individuos, r: coeficiente de regresión, p: probabilidad.

Table 5. Summary of the results between Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and the fecundity regression, considering oocytes with diameters > 600 > 750 and > 250 microns. Standard deviation in parenthesis. n: individual numbers, r: regression coefficient, p: probability.

Ovocitos (μm)	Intercepto		Pendiente (10^{-5})		n	r	P
> 600	-64,4	(7,28)	0,3	(0,029)	21	0,92	0
>750	-31,6	(4,89)	0,2	(0,020)	21	0,87	0
Total	-127,1	(15,87)	0,6	(0,064)	21	0,91	0

La distribución de frecuencia de cuatro ejemplares en estadios de madurez avanzada (Estadios 5 y 6), mostraron una gran separación entre los ovocitos maduros (> 600 μm) y la moda inferior (< 450 μm),

además de un agotamiento de la reserva de ovocitos vitelados (< 600 μm), lo cual sería una evidencia de que *X. gladius* sería un desovador sincrónico por grupo (Fig. 10). Bajo el supuesto que la modalidad

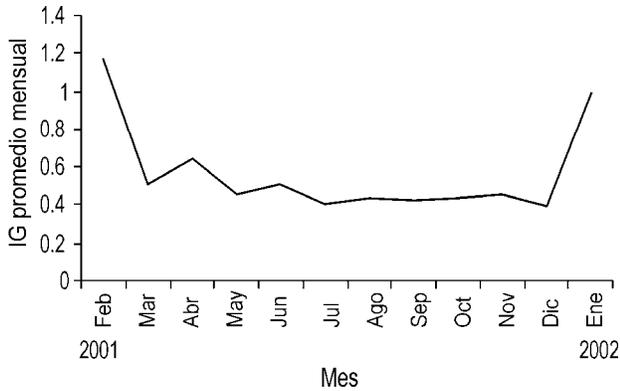


Figura 3. Promedio mensual del índice gonádico (IG) de hembras de pez espada.

Figure 3. Monthly average of gonadosomatic index (IG) in swordfish females.

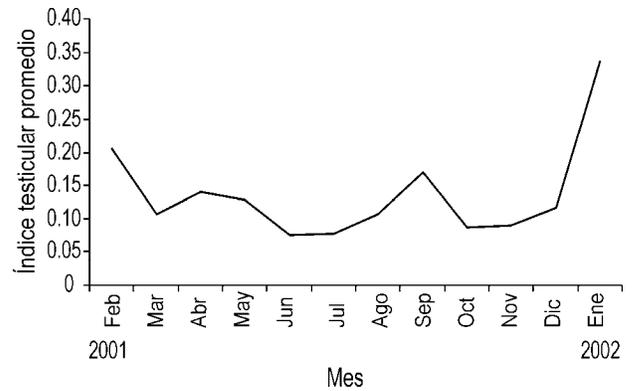


Figura 4. Promedio mensual del índice testicular de machos de pez espada.

Figure 4. Monthly average of testis index in swordfish males.

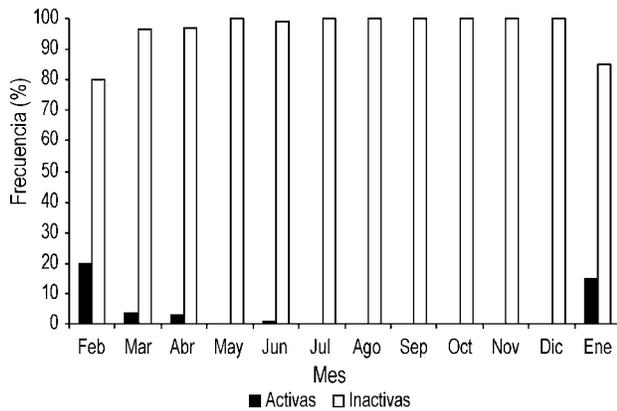


Figura 5. Distribución mensual de la proporción de hembras activas (estadios 3 al 6) e inactivas (estadios 1+2+7)

Figure 5. Monthly distribution of the proportion of reproductively active (stages 3 to 6) and inactive (stages 1+2+7) females.

reproductiva fuera ésta, es posible estimar su fecundidad total. En este caso, el total de ovocitos mayores a 250 μm presentó una buena relación con la LMIH (Tabla 5; Fig. 11), fluctuando entre 1 y 52 millones de ovocitos para LMIH de 217 y 303 cm, respectivamente.

DISCUSIÓN

Se ha señalado que la simple división del peso del ovario por una medida de tamaño corporal no necesariamente compensa el efecto del tamaño de la hembra, además que la relación entre índice gonadal y tamaño corporal puede ser distinta para diferentes estadios de desarrollo (DeVlaming *et al.*, 1982;

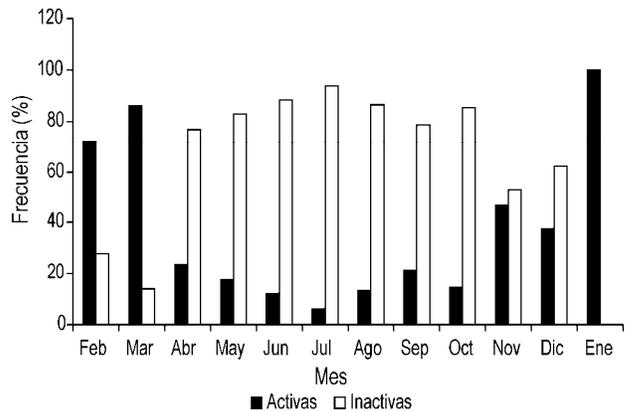


Figura 6. Distribución mensual de machos sexualmente activos (estadios 3+4) e inactivos (estadios 1+2+5).

Figure 6. Monthly distribution of reproductively active (stages 3+4) and inactive (stages 1+2+5) males.

West, 1990). West (1990) discute los supuestos que según DeVlaming *et al.* (1982) se deben cumplir para la validez del Índice Gonadosomático (IG), estos son: 1) una relación lineal entre el peso corporal y el del ovario, 2) la regresión de peso gonadal sobre peso corporal debe tener intercepto cero, 3) el coeficiente de variación de peso gonadal es constante sobre todo el rango entero de peso corporal, y 4) la relación lineal de peso ovárico al peso corporal no cambia con el estado de desarrollo gonadal. Este último supuesto es incorrecto, ya que equivale a decir que para un peso dado de hembra, el ovario en los distintos estados de desarrollo no cambiaría de tamaño (West, 1990). El supuesto 3 es un requerimiento normal para cualquier regresión y este mismo autor, señala que el supuesto 2

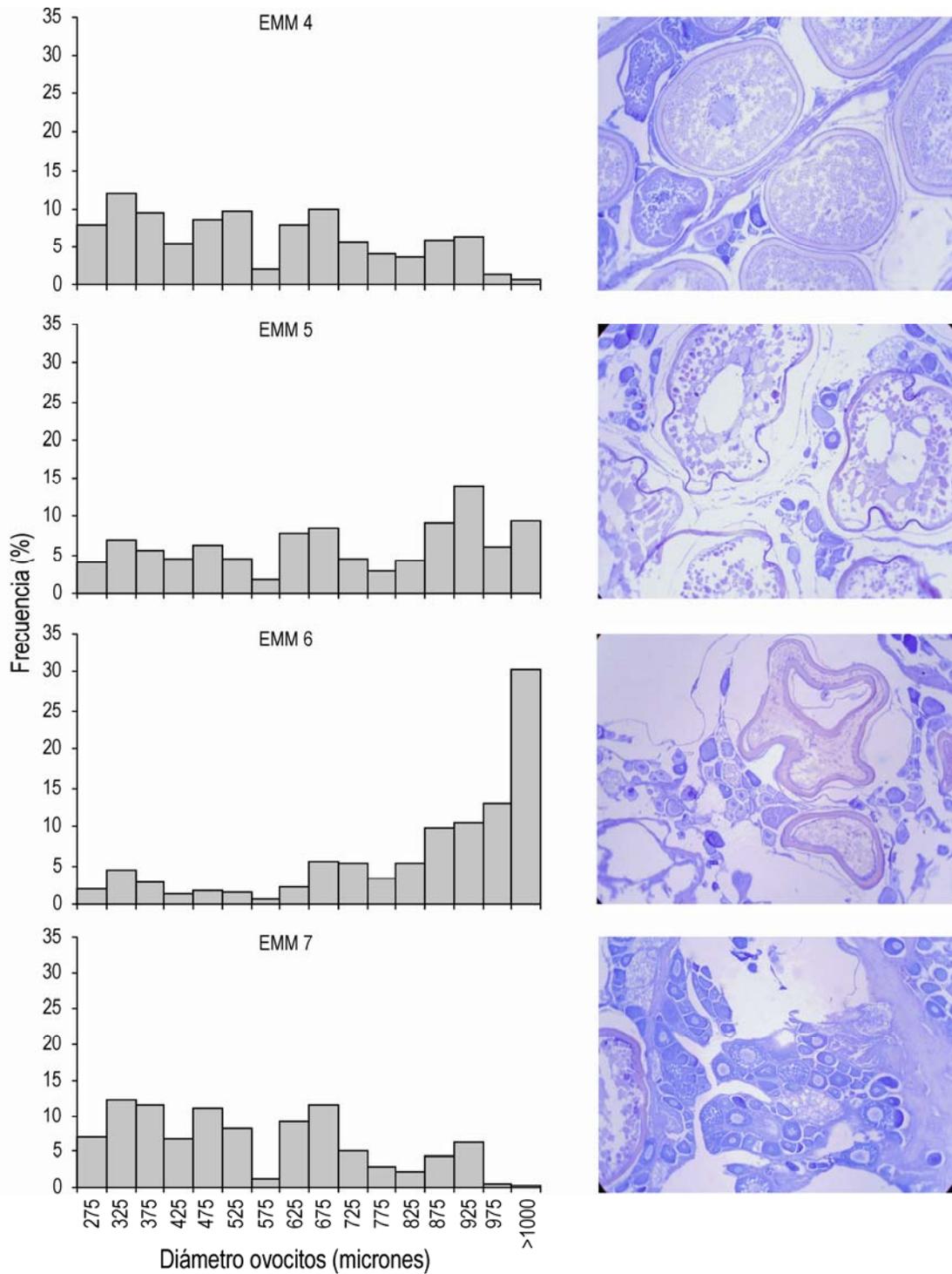


Figura 7. Distribución de frecuencia de diámetros de ovocitos en ovarios en distintos grados de madurez (EMM 4 a 7) y su correspondiente fotografía.

Figure 7. Frequency distribution of the oocyte diameters at different maturity stages (EMM 4 to 7) and its respective micro-photograph.

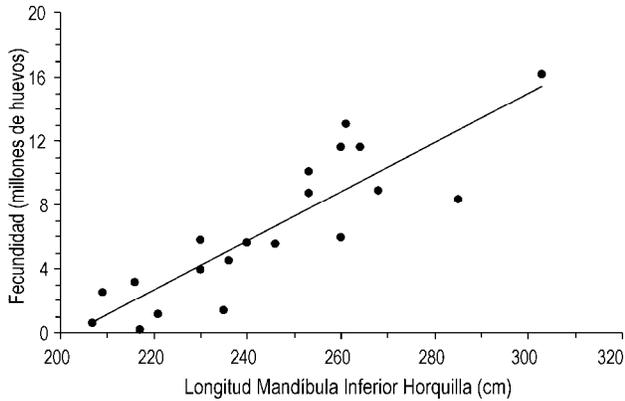


Figura 8. Relación entre la Longitud Mandíbula Inferior a Horquilla (LMIH) y la fecundidad parcial, considerando los ovocitos mayores a 0,75 mm.

Figure 8. Relationship between Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and partial fecundity, considering only oocytes greater than 0.75 mm.

debiera ser modificado para incluir diferentes estados de desarrollo. El supuesto 1 es el que no se cumple en algunas especies, lo que ha llevado a invalidar el uso de índices gonadosomáticos. Según los resultados obtenidos, el IG es útil para definir períodos de máxima actividad reproductiva. De Martini *et al.* (2000) utilizan un índice basado en longitud tomando el logaritmo de los datos ($\ln(G) / \ln(L)$), indicando que estos proveen proxies útiles de la actividad reproductiva en *X. gladius*. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que no es necesario aplicar el logaritmo a los datos, ya que no se evidencia pérdida de linealidad al utilizar una medida de volumen corporal (cubo de la longitud). El índice testicular en machos no es recomendable debido a su comportamiento errático, el cual se debería a que el testículo no presenta grandes variaciones en el peso entre los distintos estadios de madurez.

Es así que los registros mensuales de hembras sexualmente activas y la frecuencia de estadios ováricos, muestran la mayor actividad reproductiva circunscrita a la época estival, durante enero y febrero. Taylor & Murphey (1992) identifican una época reproductiva algo más extensa, al término de primavera y que se extiende hasta mediados de verano, sugiriendo un incremento de la actividad conforme progresa el proceso.

Los machos presentan testículo de tipo lobular, cuya actividad espermatogénica demostró ser más extensa que la observada en los ovarios. Si bien se registraron diferentes grados de actividad testicular durante los meses analizados, la máxima madurez testicular y

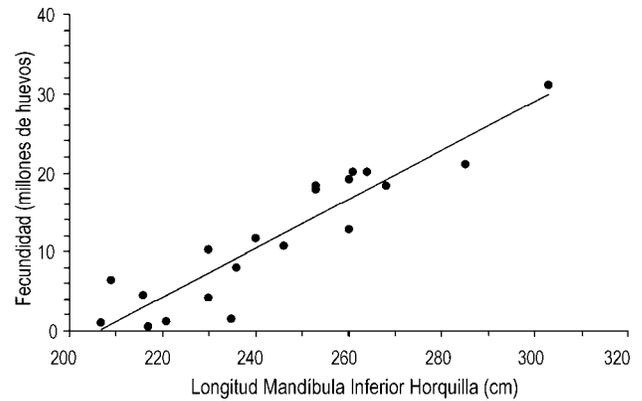


Figura 9. Relación entre la Longitud Mandíbula Inferior a Horquilla (LMIH) y la fecundidad parcial, considerando los ovocitos mayores a 0,6 mm.

Figure 9. Relationship between Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and partial fecundity, considering only oocytes greater than 0.6 mm.

emisión se registra entre enero y marzo, lo que evidencia la sincronía de la actividad reproductiva entre los sexos. Situación similar se observa en especímenes de aguas del hemisferio norte, donde Taylor & Murphey (1992) señalan que los machos muestran actividad testicular en diferentes magnitudes durante todo el año, sin embargo encuentran co-existencia entre los sexos de la época de mayor actividad gonadal.

La dinámica ovocitaria de *X. gladius* pareciera ser temporalmente de rápida completación. Esto se fundamentaría en los siguientes hechos: período de desove corto y acotado; presencia de folículos postovulatorios nuevos entre ovocitos vitelados o bien hidratados; y alta fecundidad.

La utilización de ovocitos mayores a 600 μm de diámetro para estimaciones de fecundidad, se ve avallada por los resultados de Arocha (2002) que indica que los ovocitos en estado perinuclear (sin vitelo) miden entre 50 y 250 μm ; los ovocitos previtelogénicos estarían entre 200 y 350 μm ; los vitelogénicos de 300 a 1.200 μm , identificando distintos niveles de desarrollo, el primero de 300 a 500 μm corresponde a un estado de vitelación temprana, luego entre 500 y 900 μm donde el vitelo se concentra alrededor del núcleo y finalmente entre 900 y 1200 μm en que el núcleo comienza a migrar hacia el polo animal; y finalmente los ovocitos hidratados con diámetros entre 1.600 y 2.000 μm .

Wallace & Selman (1981) definen los ovarios sincrónicos por grupo, como aquellos en que están presente al mismo tiempo al menos dos grupos de tamaño de ovocitos, siendo el grupo mayor usualmente más

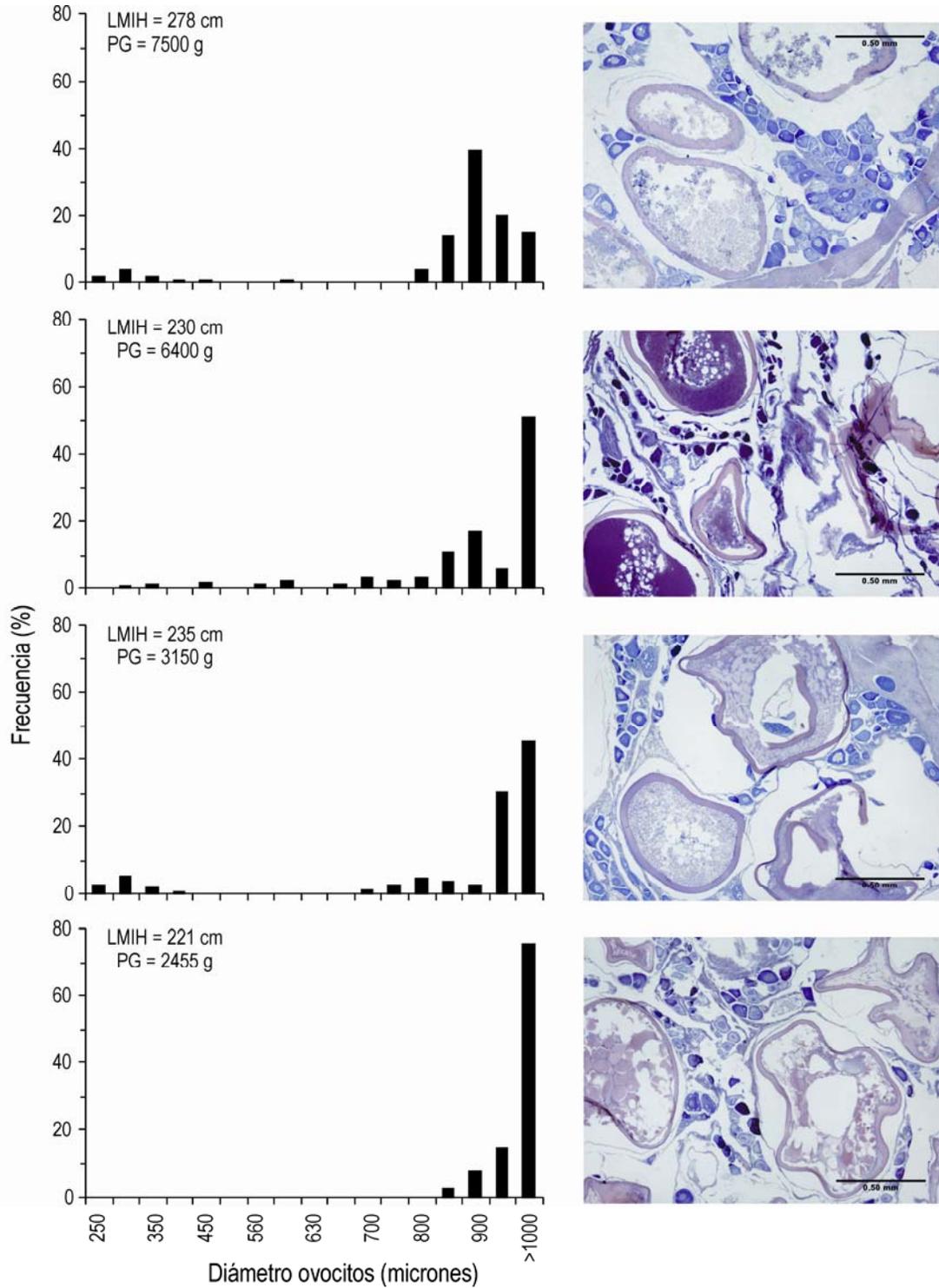


Figura 10. Distribución de frecuencia de diámetro de ovocitos y microfotografía de ejemplares en estadio de madurez 5 y 6. LMIH: Longitud Mandíbula Inferior a Horquilla; PG: peso de la gónada del ejemplar.

Figure 10. Frequency distribution of the oocyte diameters and micro-photograph in specimens in stage 5 and 6. LMIH: Lower-Jaw Fork Length; PG: ovary weight of the specimen is indicated.

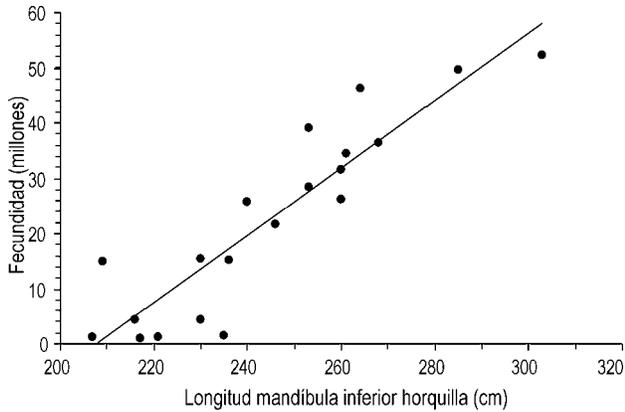


Figura 11. Relación entre la Longitud Mandíbula Inferior a Horquilla (LMIH) y la fecundidad total (ovocitos mayores a 0,25 mm).

Figure 11. Relationship between Lower-Jaw Fork Length (LJFL) and total fecundity, considering oocytes greater than 0.25 mm.

homogéneo que el pequeño. Taylor & Murphy (1992) indican que *X. gladius* sería un desovador sincrónico por grupo (*sensu* Wallace & Selman, 1981), con un patrón de desarrollo de ovocitos caracterizado por al menos dos grupos de distinto tamaño en la estación reproductiva. Estos autores señalan que todos los ovarios contenían un grupo dominante de ovocitos con diámetros inferiores a 200 μm ; los ovarios maduros presentaban un grupo adicional distintivo de ovocitos vitelogénicos de 200-600 μm ; los ovocitos mayores a 600 μm solamente se presentaron en ovarios en desove o desovados, situación que concuerda con nuestros resultados. Sin embargo, Arocha (2002) indica que *X. gladius* sería un desovante múltiple con desarrollo ovocitario asincrónico, ya que no encuentra una discontinuidad en la frecuencia de ovocitos entre los estados perinuclear y previtelogénico. Macías *et al.* (2005) realizan mediciones en placas histológicas determinando que el estadio perinuclear varía de 25 a 150 μm , alveolo cortical de 50 a 340 μm , parcialmente vitelado de 104 a 687 μm , vitelados de 280 a 758 μm y los estadios de núcleo migrante e hidratados de 377 a 1.150 μm , concluyendo que la maduración de ovocitos son similares a las descritas para otras especies con desarrollo asincrónico, ya que no encuentra discontinuidades en las distribuciones de tamaño de los ovocitos, como las encontradas en este estudio en algunos ejemplares (Fig. 7).

Young *et al.* (2003) también encuentran una distribución de tamaños continua, por lo que concluyen que

tendría desarrollo asincrónico. Esta discontinuidad es la evidencia tradicional para determinar si una especie presenta fecundidad determinada (sincrónicos). La presencia de tal discontinuidad en clases de ovocitos de hembras colectadas al comienzo de la estación reproductiva pareciera ser una prueba adecuada de que el standing stock de ovocitos es una medida de la fecundidad máxima anual (Hunter & Macewicz, 1985). La ausencia de esta, es evidencia de fecundidad indeterminada (ovarios asincrónicos), es decir que los ovocitos maduran y son desovados en forma continua durante la estación reproductiva. Hunter *et al.* (1992) indican que *Microstomus pacificus* tendría fecundidad determinada según cuatro criterios: 1) en ovarios maduros (diámetro medio de ovocitos avanzados > 0,85 mm) existe un hiatus entre el stock de ovocitos maduros y los más pequeños, menos maduros, 2) la fecundidad total (standing stock de ovocitos vitelados avanzados) declina durante la estación de reproductiva, 3) la fecundidad total fue más baja en hembras conteniendo folículos postovulatorios (indicadores de desove reciente), 4) el diámetro medio de los ovocitos avanzados aumenta en la estación reproductiva, y 5) los análisis de las tandas de desove (proveniente de las distribuciones de tamaño de los ovocitos) fue consistente con el supuesto de fecundidad determinada.

De acuerdo a nuestros resultados la condición (1) se cumple en algunos de los ejemplares analizados, es decir existe una discontinuidad entre los ovocitos maduros e inmaduros (Fig. 10), además de un agotamiento de la reserva de ovocitos en vitelación temprana. El que esta evidencia sea producto de la técnica utilizada en la separación de tamaños de ovocitos (tamizado), se descarta ya que las placas histológicas indican la misma situación (Fig. 10), es decir una clara separación de los ovocitos maduros. Las distribuciones de frecuencia de Arocha (2002) muestran una discontinuidad alrededor de los 300 μm (Arocha, 2002; Fig. 4i-4j) entre los ovocitos previtelogénicos y vitelogénicos, lo que sería evidencia de desarrollo sincrónico, aunque el autor asume que experimentan atresia y son reabsorbidos. Las mediciones de ovocitos realizadas en placas histológicas (Arocha, 2002; Macías *et al.*, 2005) aumentan la variabilidad debido por una parte al procesamiento de las muestras de tejido para histología (i.e deshidratación, inclusión y corte), que provocan alteraciones en la forma y tamaño de los ovocitos, y por otra al plano de corte efectuado. Esto aumentaría artificialmente la variabilidad en las distribuciones de tamaño de los ovocitos y explicaría en

parte, el amplio rango de tamaños en las clases de ovocitos informada por Macías *et al.* (2005) y por tanto mayor sobreposición en las distribuciones de frecuencia. La condición (2) y (4) no se pudo evaluar debido a que no se cuenta con estimaciones de fecundidad en forma mensual. El bajo número de hembras aptas para estimación de fecundidad no permite analizar la condición (3). El hallazgo de una relación significativa entre la fecundidad total ($> 250 \mu\text{m}$) y la longitud, apoyaría la condición (5). Además, se debe considerar la época de muestreo al momento de analizar las distribuciones de frecuencia, ya que incluso en un pez con desove sincrónico por grupo, en algún momento de su desarrollo ovárico, al inicio de la estación reproductiva, presentará una distribución de ovocitos continua. Por otra parte, se debe considerar que los autores que indican una modalidad reproductiva de sincronía por grupo en *X. gladius*, trabajan con muestras provenientes del Mediterráneo (Macías *et al.*, 2005) y del Atlántico Noreste (Arocha, 2002). En consecuencia, existen evidencias que no descartan una modalidad u otra (sincronía o asincronía en el desarrollo ovocitario), siendo necesaria una revisión exhaustiva de la modalidad reproductiva de *Xiphias gladius* en el Pacífico suroriental, con muestreos y análisis con mayor cobertura temporal, que no fue posible efectuar en este estudio debido a que los muestreos estaban supeditados a la actividad pesquera.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Fomento Pesquero por proveer las muestras de gónadas para el desarrollo de este estudio. A un evaluador anónimo que efectuó importantes recomendaciones acerca de la modalidad reproductiva.

REFERENCIAS

- Arocha, F. 2002. Oocyte development and maturity classification of swordfish from the northwestern Atlantic. *J. Fish Biol.*, 60: 13-27.
- DeMartini, E., J. Uchiyama & H. Williams. 2000. Sexual maturity, sex ratio, and size composition of swordfish, *Xiphias gladius*, caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *US Fish. Bull.*, 98: 489-506.
- DeVlaming, V., G. Grossman & F. Chapman. 1982. On the use of the gonosomatic index. *Comp. Biochem. Physiol.*, 73A: 31-39.
- Hunter, J. & B. Macewicz. 1985. Measurements of spawning frequency in multiple spawning fishes. In: R. Lasker (ed.). *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax**. NOAA Tech. Rep. NMFS, 36: 79-94.
- Hunter, J., B. Macewicz, N. Lo & C. Kimbrell. 1992. Fecundity, spawning, and maturity of female Dover sole *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *US Fish. Bull.*, 90: 101-128.
- Kume, S. & J. Joseph. 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean east of 130°W. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 2: 115-162.
- Macías, D., A. Hattour, J.M. de la Serna, M.J. Gómez-Vives & D. Godoy. 2005. Reproductive characteristics of swordfish (*Xiphias gladius*) caught in the southwestern Mediterranean during 2003. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 58(2): 454-469.
- Miyabe, N. & W.H. Bayliff. 1987. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1971-1980. *Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 19(1): 1-163.
- Murphy, M. & R. Taylor. 1990. Reproduction, growth, and mortality of red drum *Sciaenops ocellatus* in Florida waters. *US Fish. Bull.*, 88: 531-542.
- Murua, H. & F. Saborido-Rey. 2003. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 33: 23-31.
- Nakano, H. & W.H. Bayliff. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-1987. *Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 20(5): 183-355.
- Palko, B.J., G.L. Beardsley & W.J. Richards. 1981. Synopsis of the biology of the swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus. NOAA Technical Report, NMFS Circular 441. *FAO Fish. Synop.*, 127: 21 pp.
- Shingu, C., P. Tomlison & C. Peterson. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. *Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 16(2): 65-230.
- Taylor, R. & M. Murphy. 1992. Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the Straits of Florida and adjacent waters. *US Fish. Bull.*, 90: 809-816.
- Wallace, R. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of the oocyte growth in teleost. *Amer. Zool.*, 21: 325-343.
- Weber, E.C. & S.R. Goldberg. 1986. The sex ratio and gonad indices of swordfish, *Xiphias gladius*, caught off the coast of southern California in 1978. *US Fish. Bull.*, 84: 185-186.

- West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 41: 199-222.
- Yabe, H., S. Ueyanagi, S. Kikawa & H. Watanabe. 1959. Study on the life-history of the swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus. In *Jap., Engl. summ. Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab.*, 10: 107-150.
- Yañez, E., M.A. Barbieri, A. González, O. Pizarro, M. Bravo, C. Canales & S. Salinas. 1994. Sea surface thermal structure associated to the pelagic fish resources distribution in northern Chile. In: *Remote sensing for marine and coastal environments. Environmental Research Institute of Michigan, USA*, 2: 149-162.
- Young, J., A. Drake, M. Brickhill, J. Farley & T. Carte. 2003. Reproductive dynamics of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, in the domestic longline fishery off eastern Australia. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 54: 315-332.

Received: 24 November 2006; Accepted: 07 May 2008