

Análisis de la pesquería de *Sardinops sagax* en la costa occidental de Baja California Sur, México, durante 2006-2008

Felipe Neri Melo-Barrera,* Roberto Félix-Uraga* y Casimiro Quiñonez-Velázquez*

Se presentan los resultados del análisis de las capturas, de la estructura de tallas y edades y de la reproducción de *Sardinops sagax* capturada en Bahía Magdalena para el periodo 2006-2008. Se desembarcaron 163 957 t de pelágicos menores, de las cuales 149 688 t son de *S. sagax*. Las variaciones de las capturas y el esfuerzo para esta especie estuvieron estrechamente correlacionadas, considerándose que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es un indicador relativo de la abundancia. La talla de la mayoría de los ejemplares capturados está por arriba de la mínima legal, aunque en 2006 y 2007 sobrepasaron el porcentaje permitido en las capturas. La edad se estimó por medio de la marcas presentes en los otolitos, detectándose seis grupos de edad (0-5), el grupo 1 fue el más abundante, seguido del 2. La estructura de tallas y edades presentó variaciones significativas entre años, pero fue similar entre sexos. De acuerdo con el porcentaje de organismos maduros y en post-desove, la temporada de reproducción se presentó durante el invierno, con un pequeño repunte en el verano. La explotación de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena presentó amplias variaciones, ocasionadas por las condiciones ambientales imperantes en la zona.

Palabras clave: Sardina del Pacífico, capturas, CPUE, edad, tallas, reproducción.

Fishery analysis of *Sardinops sagax* in west coast of Baja California Sur, México, during 2006-2008

Results of catch, size and age frequency distribution analysis, and reproduction of *Sardinops sagax* caught in Magdalena Bay, between 2006-2008 are shown. Capture of 163 957 t of small pelagic fish were landed, of which *S. sagax* was of 149.688 t. Catch and effort variations were closely correlated, therefore we consider that the catch per unit of effort (CPUE) is a relative abundance indicator. Catch was composed mainly of organisms larger than legal minimum size, although in 2006 and 2007 they exceeded the percentage allowed in the catches. The age was estimated through reading the marks present in otoliths; we detected six age-groups (0-5), the one year old was the most abundant, and followed by the age group two. Size and age frequency distribution was different between years, but similar between sexes. According to the frequency of ripe and post-spawning organisms, the breeding season occurs in winter, with a small peak in summer. The production of Pacific sardine in Magdalena Bay showed wide variations, these changes in abundance are due to environmental conditions prevailing in the area.

Key words: Pacific sardine, catch, CPUE, age, size, reproduction.

Introducción

Los peces pelágicos menores se definen como especies epipelágicas costeras que forman grandes cardúmenes, los adultos alcanzan entre 10 y 30 cm de longitud y se alimentan principalmente de fitoplancton y/o micro-mesozooplankton (Fréon *et al.*, 2005). Presentan una distribución antitro-

pical, asociándose a los sistemas de corrientes de borde oriental en todos los continentes. Se caracterizan por tener ciclos de vida corto, tasa de crecimiento individual y de mortalidad alta, periodos de reproducción prolongados, una fecundidad alta y maduración temprana.

Los peces pelágicos menores son conocidos comúnmente como sardinas, arenques y anchovetas y pertenecen principalmente a las familias Clupeidae y Engraulidae. En México, la pesca de sardinas incluye a la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842), la sardina cri-nuda *Ophistonema* sp., la sardina japonesa *Etrumeus teres* (DeKay, 1842), la sardina bocona

* Laboratorio de Dinámica Poblacional. Departamento de Pesquerías y Biología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, Apdo. Postal 592, La Paz, B.C.S., 23096, México. fmelo@ipn.mx; taudax@hotmail.com

Cetengraulis mysticetus (Günther, 1867), la anchoveta *Engraulis mordax* Girard, 1854, y si bien no son propiamente pelágicos menores, se incluye a la macarela *Scomber japonicus* Houttuyn, 1782 y al charrito *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855). En la corriente de California, *S. sagax* es la especie más importante en términos de volumen. Su abundancia presenta cambios en la escala interanual que se ven reflejados en la disponibilidad del recurso (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Félix-Uraga *et al.*, 1996; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001), por lo que las capturas tienen amplias variaciones, afectando de manera importante a la industria sardinera nacional.

Una de las características principales de la sardina del Pacífico es su plasticidad, lo que le permite responder de manera rápida a las condiciones del ambiente. Se reproduce en un amplio intervalo de temperatura desde los 13-25 °C (Lluch-Belda *et al.*, 1991), con varios sitios principales de desove (Macewicz *et al.*, 1996) que, dependiendo de las condiciones imperantes pueden cambiar, además de que su temporada reproductiva puede abarcar todo el año (Torres-Villegas *et al.*, 1995). Presenta cambios en su área de distribución de acuerdo con las características particulares entre un año y otro (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Félix-Uraga *et al.*, 2004), así como en sus parámetros poblacionales, como el crecimiento individual y el reclutamiento (Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002), la talla de primera madurez (Torres-Villegas *et al.*, 1995). Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar las capturas (composición específica y captura por unidad de esfuerzo), estimar la estructura de tallas y edades y la época reproductiva de *S. sagax* en la costa occidental de Baja California Sur, durante 2006-2008, ya que esta especie aportó hasta 99% de la producción anual de pelágicos menores en el estado.

Materiales y métodos

Bahía Magdalena se localiza en la costa oeste de Baja California Sur, entre los 24.5°15'-25°20' N y entre 112°30'-112°12' O. Presenta una profundidad media de 20 m, mantiene comunicación constante con el océano Pacífico a través de una boca de 4 km de amplitud con una profundidad

promedio de 38 m. A la zona nerítica frente a Bahía Magdalena se le considera como de transición templado-tropical, ya que en ella convergen las masas de agua del Pacífico Norte, Central, Oriental y Tropical (Brinton y Reid, 1986), además de que las condiciones ambientales en esta zona de transición, están fuertemente influenciadas por la corriente de California (CC) que aporta aguas con temperatura y salinidad bajas (<18° C y 34.4‰) y alta concentración de nutrientes (Hernández-Trujillo *et al.*, 2004).

De enero de 2006 a diciembre de 2008 se realizaron muestreos mensuales de la pesquería comercial de pelágicos menores que se desarrolla en Bahía Magdalena y descargan sus capturas en los puertos de Adolfo López Mateos y San Carlos (Fig. 1). Se recolectaron muestras de entre 10 y 15 kg de la captura de los barcos sardineros. Se midieron todos los ejemplares agrupándose en intervalos de 5 mm de longitud patrón (LP). Se seleccionaron al azar hasta cinco ejemplares por cada intervalo, con lo que se conformó el muestreo biológico, de esta manera se aseguró que la muestra biológica fuera representativa de la captura. Cada ejemplar del muestreo biológico se midió (LP, ± 1 mm), se determinó el sexo y la madurez (por inspección visual de las gónadas) y se recolectaron los otolitos para la estimación de la edad. Para determinar la madurez se utilizó la escala morfocromática propuesta por Holden y Raitt (1975), que consta de cinco estadios: I (inmaduro), II (en desarrollo o en recuperación), III (madurando), IV (maduro) y V (post-desove).

Se obtuvieron los datos de captura y esfuerzo, que incluyen la fecha de captura, la especie y el volumen de la captura en toneladas. El esfuerzo fue considerado como la captura (t) por viaje de pesca.

La edad se estimó mediante la lectura de las marcas de crecimiento, que se realizó sobre la cara distal del otolito utilizando un microscopio estereoscópico (10x) con luz reflejada sobre un fondo oscuro, de esta manera los anillos opacos se observaron blancos y los hialinos se ven oscuros. El conjunto de un anillo opaco y un hialino conforman una marca de crecimiento, por lo que la estimación de la edad se realizó contando el número de anillos hialinos. La estructura por edades se estimó para machos y hembras y para

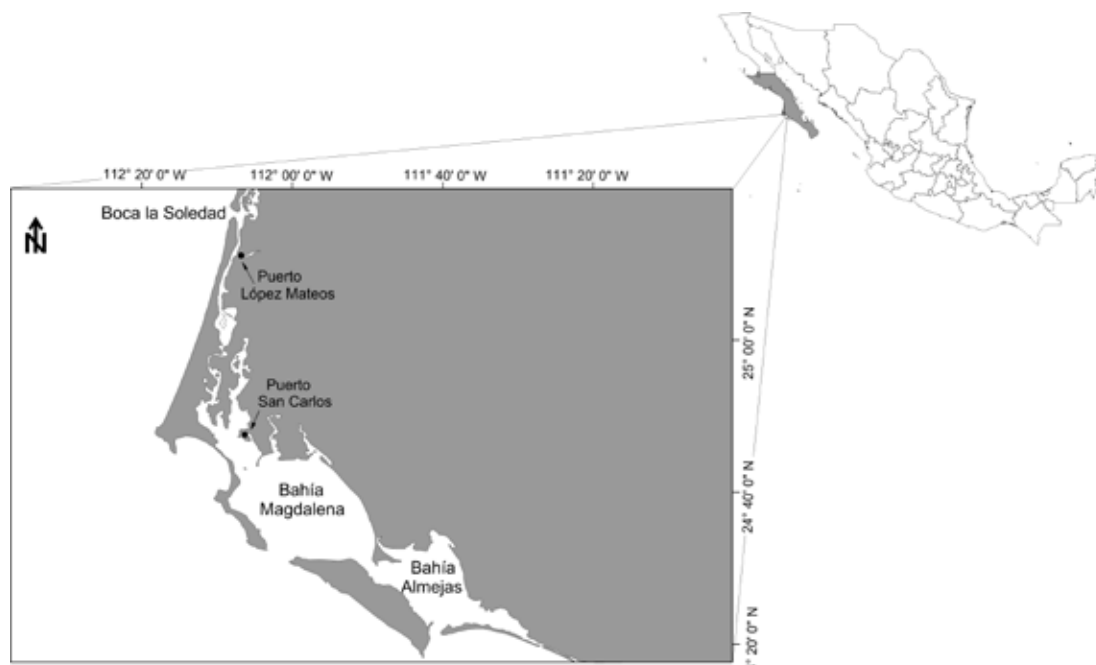


Fig. 1. Área de estudio. Complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

cada año de estudio, registrando la frecuencia de aparición de cada grupo de edad.

El análisis de la estructura de tallas se realizó agrupando la LP en intervalos de 5 mm, para cada sexo y por año. Para evaluar las diferencias en las estructuras de tallas y edades por año y debidas al sexo, se empleó una prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov contenida en el software STATISTICA 7.0.

La época de reproducción se estimó considerando la frecuencia mensual de los organismos maduros y en post-desove (estadios IV y V) para machos, hembras y sexos combinados.

Resultados

Capturas y esfuerzo

Durante el periodo de 2006 a 2008 la flota sardinera que opera en Bahía Magdalena descargó 163 957 t de pelágicos menores con un esfuerzo de 2 221 viajes de pesca. La especie dominante fue *S. sagax*, que en 2006 produjo 57 078 t (98% de la producción) y en 2007 se descargaron 56 282 t (99%), mientras que en 2008 su producción se redujo sustancialmente (36 328 t) hasta alcanzar 75% de las descargas (Tabla 1). Otras especies de pelágicos menores capturados fue-

ron *Ophistonema* sp., *E. teres*, *C. mysticetus* y *S. japonicus*. La composición específica de las capturas se mantuvo constante, pero el aporte de cada una de las especies varió. Durante 2006 y 2008 la sardina crinuda fue la segunda en importancia, y en 2007 la sardina bocona y la macarela fueron las que siguieron en importancia a *S. sagax*.

Tabla 1

Producción de pelágicos menores en Bahía Magdalena durante 2006-2008 en toneladas y número de viaje por año. La mezcla se refiere a aquellas descargas que no fue posible separar por especie

Especie	2006	2007	2008	Total (t)
<i>S. sagax</i>	57 078	56 282	36 328	149 688
<i>Opisthonema</i> sp.	837	43.5	6 927	7 807
<i>E. teres</i>	52	62.5	366.6	481
<i>S. japonicus</i>	0	179	714.8	894
<i>C. mysticetus</i>	167	342.7	3 349	3 859
Mezcla	103	100	1 026	1 229
Total (t)	58 237	57 009	48 711	163 957
viajes	872	722	627	2 221

De manera general, en 2006 y 2007 las capturas más importantes se presentaron desde marzo hasta septiembre (por arriba de 3 500 t) alcanzando cerca de 8 500 t en agosto, con el mínimo en diciembre; mientras que en 2008, el grueso de la producción ocurrió de marzo a agosto (6 022 t)

con una drástica disminución hasta su mínimo en octubre (Fig. 2a).

La variación en el esfuerzo de pesca presenta la misma tendencia que las capturas, el mayor esfuerzo se aplicó en 2006 con una ligera disminución durante 2007 y en 2008 se ejerció un menor esfuerzo que en los años previos (Fig. 2b). El esfuerzo de pesca mensual en un ciclo anual presenta la misma tendencia que las capturas de *S. sagax*, quedando de manifiesto con el coeficiente de determinación (r^2) de 0.94, 0.98 y 0.90 de 2006 a 2008 respectivamente.

La CPUE para la sardina del Pacífico durante 2006 y 2007 fue muy similar a la CPUE total (Fig. 2c), pero en 2008 se observó una disminución en la de *S. sagax* (58 t/viaje) con respecto de la total (79 t/viaje). Esto se debió a la disminución de las capturas de *S. sagax* y al incremento de *Opisthonema* sp. en las capturas. La variación mensual de la CPUE de *S. sagax* y la total mensual para 2006 y 2007 fue similar, mientras que para 2008, esta variación mostró diferencias con respecto de los años anteriores (Fig. 2c). La variación a lo largo del periodo de estudio entre la captura de *S. sagax* y la captura total, así como la CPUE para

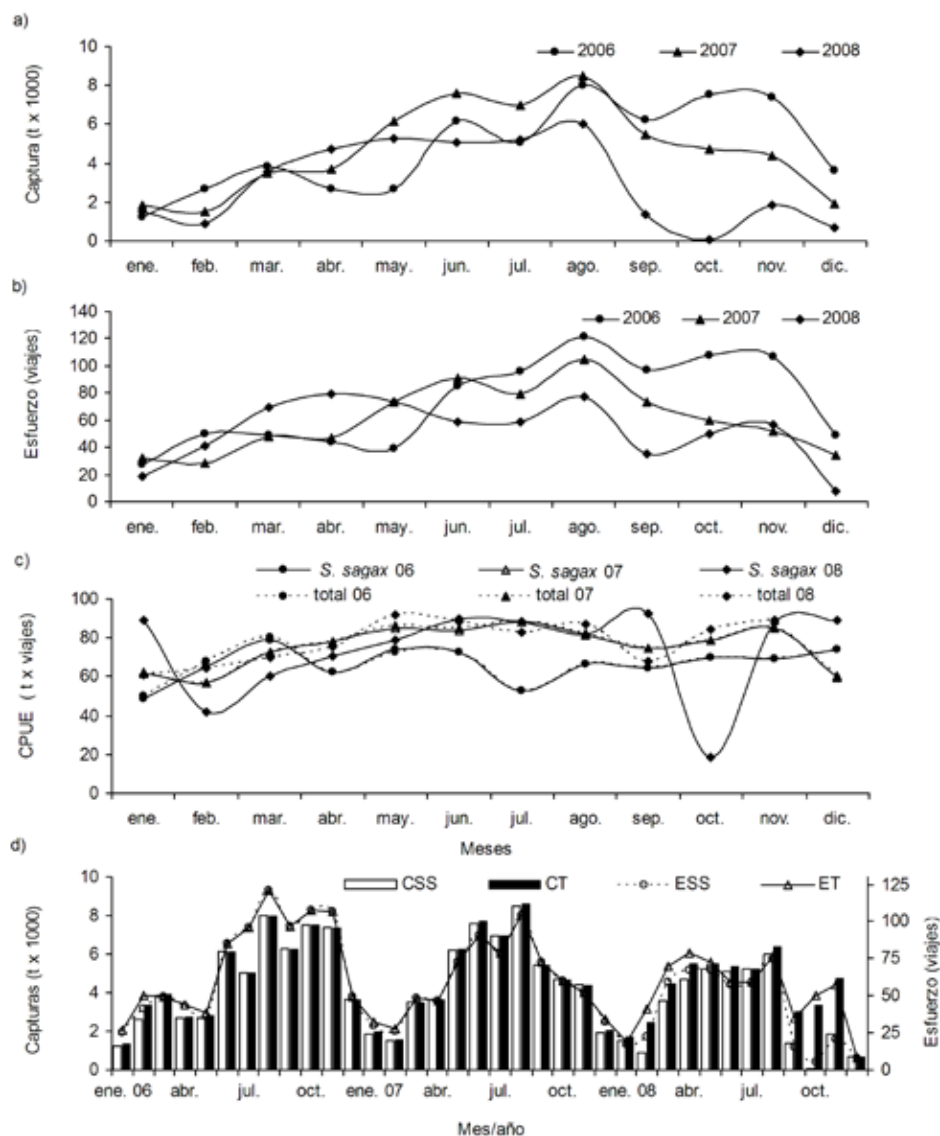


Fig. 2. Variaciones mensuales de: a) la captura de *Sardinops sagax*; b) el esfuerzo (número de viajes); c) la captura por unidad de esfuerzo (CPUE = t x viaje) para *Sardinops sagax* y para todas las especies, y d) patrón anual de las capturas y el esfuerzo para *Sardinops sagax* y las capturas y el esfuerzo para los pelágicos menores capturados en Bahía Magdalena.

S. sagax y CPUE total, presenta un ciclo bien definido, un incremento en las variables a principios de año, con el máximo a mediados, y posteriormente un descenso más o menos pronunciado para el otoño (Fig. 2d).

Datos biológicos

En total se registraron los datos de 2 072 ejemplares y se recolectaron 2 019 otolitos de *S. sagax*. El mayor número de ejemplares y otolitos se obtuvo en 2007 y el menor en 2006. En la *tabla 2* se presenta el número de machos, de hembras y de otolitos recolectados para cada año.

Estructura de tallas

Las tallas obtenidas en el periodo de estudio oscilaron entre 108 mm LP (2007) a 206 mm LP (2008). La abundancia relativa de los individuos menores a la talla mínima legal (150 mm LP) en las capturas, se redujo considerablemente, pasando de 39% en 2006 a 33% en 2007 y a 3% en 2008 (Tabla 2). Por otro lado, el mayor porcentaje de los individuos recolectados presentó tallas de 150 a 185 mm LP representando 58%, 66% y 83% de las capturas para 2006, 2007 y 2008, respectivamente. Los organismos con tallas >185 mm LP fueron muy escasos en 2006 (2%) y 2007 (1%), si bien incrementaron su presencia de manera significativa en 2008, cuando representaron 14% de la muestra.

La estructura de tallas general (2006-2008) no presentó diferencias significativas debidas al sexo de los organismos (κ -S; $D_{\max} = 0.97$, $p > 0.05$) (Fig. 3a). Mientras que la estructura de tallas de los machos presentó diferencias significativas entre años (κ -W, $\chi^2 = 175$, $p < 0.01$) (Fig. 3b). Esto fue debido a que en 2007 se capturaron machos más pequeños que en 2006, mientras que los de 2008 fueron más grandes que los de los años previos. Para el caso de las hembras no se detectaron diferencias entre 2006 y 2007 (κ -W, $\chi^2 = 1.48$, $p > 0.05$), pero sí con respecto a 2008 (κ -W, $\chi^2 = 180$, $p < 0.01$), puesto que éstas presentaron tallas mayores que en 2006 y 2007 (Fig. 3c).

Tabla 2

Número de ejemplares y otolitos colectados. Valores máximo, mínimo, promedio y desviación estándar de la longitud patrón. Porcentaje de individuos menores a 150 mm de longitud patrón por año

		2006	2007	2008	Total
Muestras	Machos	190	323	288	801
	Hembras	309	447	320	1 076
	Total	556	904	612	2 072
	Otolitos	547	860	612	2 019
Longitud patrón (mm)	Mínima	114	108	133	108
	Máxima	204	197	206	206
	Promedio	155.4	156.1	174.3	161
	Desviación estándar	17.51	12.59	13.82	16.47
	Individuos menores a 150 mm (%)	39	33	3	28

Estructura de edades

El número de marcas de crecimiento en los otolitos permitió detectar seis grupos de edad (0-5), siendo el 1 el más abundante (52%), seguido por el 2 (28%) y el 0 (13%); los individuos mayores a tres años representaron menos de 1% de la captura. La estructura por edades global (2006-2008) no mostró diferencias significativas entre machos y hembras (κ -S, $H = -0.02$, $p > 0.05$) (Fig. 4a). Por otro lado, la estructura de edades para machos (Fig. 4b) y para hembras (Fig. 4c) presentó diferencias significativas entre los años. Para 2006 y 2007 esta diferencia radica en los individuos del grupo de edad cero, pues son más abundantes en 2007 (κ -S, $H = 0.08$, $p < 0.05$). Mientras que para los casos 2006 vs 2008 y 2007 vs 2008, las diferencias están en el incremento de los individuos del grupo de edad 2 (2006 vs 2008: κ -S, $H = 0.08$, $p < 0.05$; 2007-2008: κ -S, $H = -0.3$, $p < 0.05$).

Al analizar la estructura de edad para machos entre los años se encontraron las mismas diferencias significativas que en la estructura general: mayor abundancia de organismos de edad 1 en 2007 que en 2006 (κ -S, $H = 0.13$, $p < 0.05$), y mayor abundancia de organismos de edad 2 en 2008 con respecto de 2006 (κ -S, $H = -0.19$, $p < 0.05$) y 2007 (κ -S, $H = -0.26$, $p < 0.05$). Sin embargo, las hembras de 2006 y 2007 presentaron estructuras de edades similares (κ -S, $H = 0.1$, $p > 0.05$),

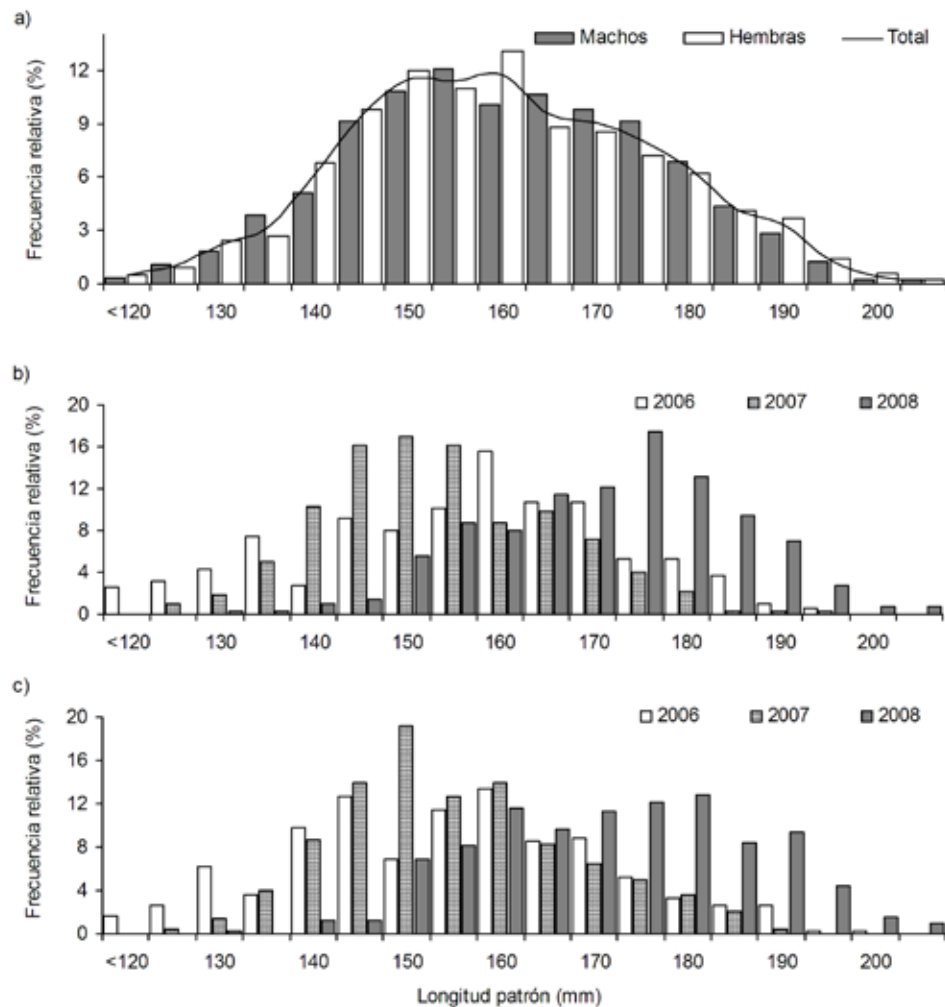


Fig. 3. Estructura de tallas de *Sardinops sagax* capturada en Bahía Magdalena durante 2006-2008: a) para machos, hembras y sexos combinados, b) de machos y c) de hembras por año.

pero la diferencia significativa con la estructura de 2008 se conserva (2006: K-S, $H = -0.19$, $p < 0.05$; 2007: K-S, $H = 0.29$, $p < 0.05$). La estructura de edad para cada año de estudio por sexo se presenta en las figuras 4b y 4c.

Época de reproducción

En el periodo de estudio (2006-2008), las hembras fueron más abundantes que los machos, dando una proporción de 0.74:1 (M:H), que fue significativamente diferente de la proporción esperada 1:1 ($\chi^2 = 51$, $p < 0.05$). Esta situación se repitió en 2006 cuando la proporción M:H fue de 0.61:1 ($\chi^2 = 65$, $p < 0.05$), y en 2007 cuando fue

de 0.72 M:1 H ($\chi^2 = 52$, $p < 0.05$). En 2008 no se detectaron diferencias significativas en esta proporción (M:H = 0.9:1; $\chi^2 = 18$, $p > 0.05$).

Los individuos inmaduros (estadio I) estuvieron presentes a lo largo del año, aunque su mayor abundancia se presentó en los meses de septiembre a noviembre. Los ejemplares maduros (estadio IV) y en post-desove (estadio V) se observaron casi todo el año (Fig. 5a). El mayor porcentaje de individuos en estadios IV y V se presentó a principios de año, tanto para machos (Fig. 5b) como para hembras (Fig. 5c), alcanzando cerca de 90% de los individuos en la muestra; esto indica que el pico del evento reproductivo ocurrió de diciembre a marzo, con un segundo

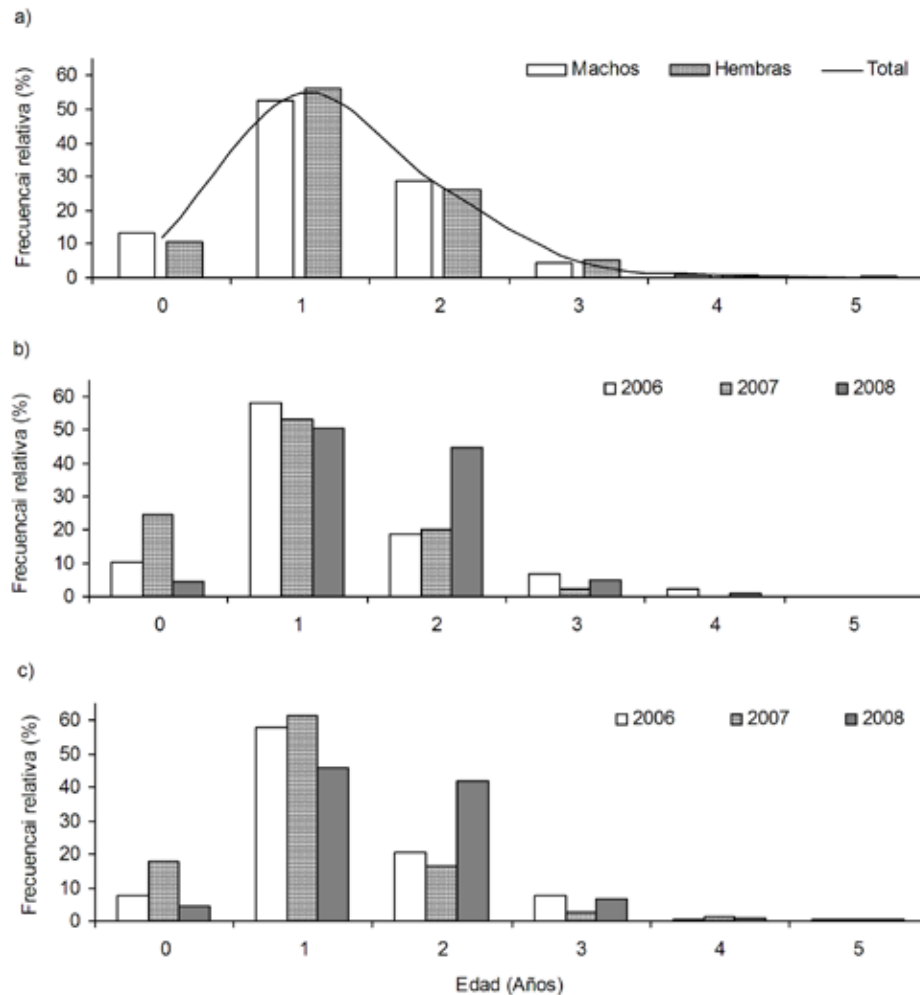


Fig. 4. Estructura de edades de *Sardinops sagax* capturada en Bahía Magdalena durante 2006-2008: a) para machos, hembras y sexos combinados, b) de machos para cada año y c) de hembras para cada año.

pico de menor intensidad en junio-julio (Figs. 5a, b y c).

Discusión

Capturas y esfuerzo

La participación de los pelágicos menores en la producción pesquera de México es muy importante, pues entre 1994-2004 se capturaron 1 437 357 t (SAGARPA, 2004), donde los pelágicos menores aportaron el 31%. La participación de *S. sagax* en estas capturas llega a alcanzar 99% en las zonas de pesca en México, como ocurrió en Bahía Magdalena durante 2007.

En las pesquerías de pelágicos menores es común utilizar el viaje de pesca como unidad de esfuerzo (Félix-Uraga *et al.*, 1996, 2004; Nevárez-Martínez *et al.*, 1999; Gatica *et al.*, 2007) y estandarizar el esfuerzo con base en el tamaño del buque más común debido a que las embarcaciones poseen diversas características. En el caso de Bahía Magdalena, no fue necesario estandarizar el esfuerzo, ya que los barcos que operan en el área oscilan alrededor de las 100 t de capacidad de acarreo, y los viajes de pesca tienen una duración de un día aproximadamente.

A diferencia de otras pesquerías, la pesca de sardina en Bahía Magdalena no sufre descartes, pues otras especies de las familias Lutjanidae, Sciaenidae, Haemulidae, Paralichthyidae, Serranidae, etc., que se capturan, son derivadas a la

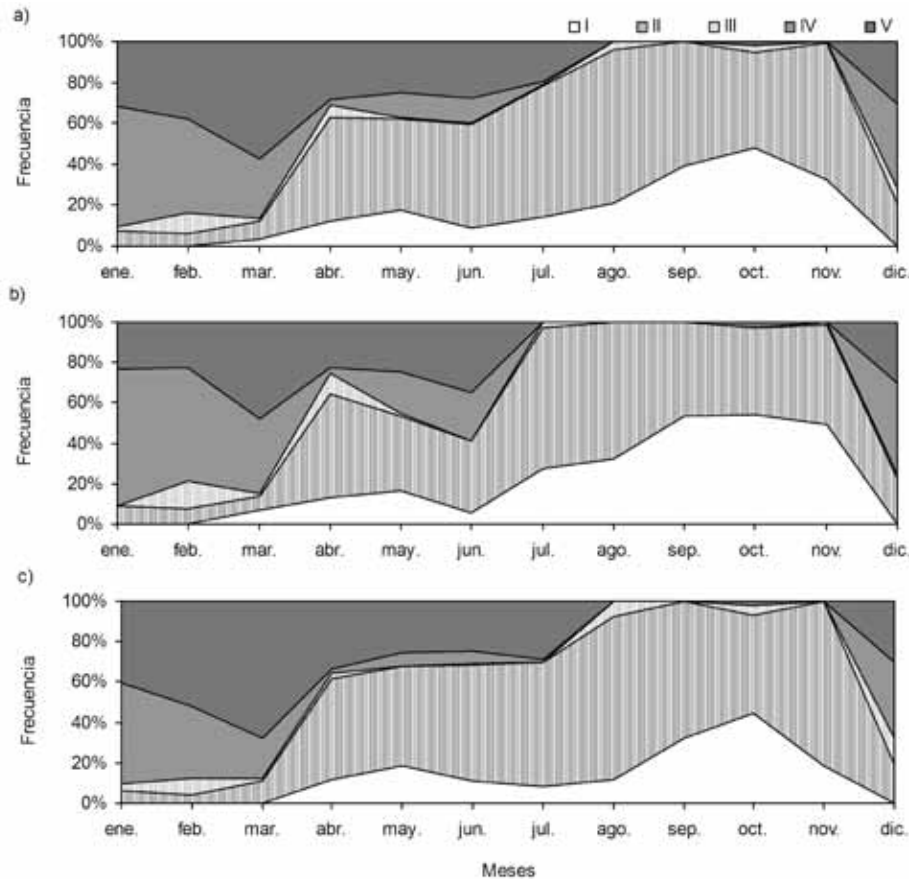


Fig. 5. Ciclo reproductivo de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena durante 2006-2008; a) sexos combinados, b) machos y c) hembras.

producción de harina de pescado. Así pues, la captura descargada es representativa de la captura en peso vivo; en realidad, el peso y la composición específica de la descarga es la captura total obtenida por el barco. El descenso en las capturas de *S. sagax* durante 2008 no debe ser visto como un decremento en la población, ya que los pelágicos menores presentan amplias fluctuaciones interanuales asociadas a variables tanto exógenas como endógenas. Las causas de las fluctuaciones de las especies son complejas y determinadas por procesos que actúan de forma directa e indirecta en la abundancia de los peces, que tienen su origen en componentes biológicos, ambientales y/o antropogénicos (Pedraza-García y Cubillos, 2008), aunque hay cada vez más evidencias de que los factores ambientales juegan un papel dominante en los procesos de cambio en la abundancia de los pelágicos menores (Nevárez-Martínez *et al.*, 2001). Uno de los principales fenómenos que afectan es El Niño

(Lluch-Belda *et al.*, 1986; Schwartzlose *et al.*, 1999; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001). En 1991 se descargaron 16 000 t de *S. sagax* en Bahía Magdalena, y un año después (durante El Niño de 1992) la captura se redujo a menos de 5 000 t, si bien se recuperó en 1994 y alcanzó la producción récord de aquellos años de 34 000 t. Félix-Uraga *et al.* (1996) asociaron estas fluctuaciones al fenómeno de El Niño.

Las variaciones en las capturas pueden ser vistas como indicadores de la abundancia y la disponibilidad de los recursos. Para el golfo de California se ha establecido que la disponibilidad de *S. sagax* en la pesquería de pelágicos menores es un resultado de su abundancia y su distribución (Lluch-Belda *et al.*, 1986; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001). Sin embargo, la captura como tal puede enmascarar estos efectos, pues mejoras en las artes de pesca o barcos con bodegas más grandes o mayor eficiencia pueden compensar las disminuciones en la población, como

sucedió con *S. sagax* durante El Niño de 1982-1983 (Nevárez-Martínez *et al.*, 2001). La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es utilizada comúnmente como una medida de abundancia relativa de las poblaciones en la evaluación de los *stocks*, independientemente de si los datos provienen de pesquerías comerciales o de cruceros de investigación (Haggarty y King, 2006). Cisneros-Mata *et al.* (1996) reportaron una relación entre la CPUE y el esfuerzo para las capturas de *S. sagax* en el golfo de California lo que fue asociado a un incremento en la eficiencia de pesca, debido a la adquisición de más experiencia y a la nueva tecnología que se utilizaba, y no a un incremento en la población de sardina. En el trabajo presente se considera que el esfuerzo definido como el viaje de pesca es adecuado, ya que en la pesquería de pelágicos menores de Bahía Magdalena las características de las embarcaciones y los aspectos mecánicos y técnicos entre los años de estudio son similares, por otro lado, la habilidad o las características asociadas a los pescadores tienen poco efecto en la efectividad de las maniobras de pesca, pues la pesquería está establecida desde hace varios años.

La CPUE ofrece grados de abundancia relativos de las poblaciones que son características de un área o de un periodo específico del año. Una desventaja de utilizar la CPUE como indicador de abundancia, recae en la ausencia de información de ciertas zonas que no son explotadas por los pescadores (Verdoit *et al.*, 2003). Para el caso de Bahía Magdalena esta objeción puede no ser tomada en cuenta, ya que los pescadores buscan la sardina dentro de la bahía y sólo cuando no la encuentran salen de ésta para dirigirse hacia la parte media de la península de Baja California, aunque la producción obtenida es tan escasa que deciden no continuar con las operaciones de pesca. Esta situación se presentó a finales de 2008 cuando la abundancia de *S. sagax* disminuyó de manera notable, por lo que se pescó fuera de la bahía; la producción de sardina fue tal, que el número de viajes se redujo en más de 75% con respecto de los meses previos.

La estacionalidad de las capturas en Bahía Magdalena se asocia a las condiciones particulares dentro de cada año; sin embargo, se mantiene un patrón general. La captura de *S. sagax* presenta un incremento a principios de primave-

ra con un máximo en el verano, para luego descender y tener un segundo pico a fin de año. Este comportamiento se ve invertido en las capturas de pelágicos menores en Ensenada, BC donde el máximo se presenta a finales y principios de año, y el mínimo en primavera-verano (García-Franco *et al.*, 2001). Este incremento de las capturas en Bahía Magdalena en el verano, su descenso en el invierno, y su comportamiento inverso en Ensenada, llevaron a Félix-Uraga *et al.* (1996) a asociar estas variaciones a la migración de la especie y a proponer un modelo para explicar el proceso de migración en la parte sur de la CC (Félix-Uraga *et al.*, 2004). La variación de las capturas de *S. sagax* en el golfo de California también ha sido asociada a su proceso de migración, en el invierno-primavera migra hacia el sur y al final de la primavera y el verano se mueve hacia el norte, con los cambios consecuentes en las operaciones de la pesquería (Lluch-Belda *et al.*, 1986).

Estructura de tallas

La estructura y las variaciones de tallas de *S. sagax* reportadas en este estudio son similares a las encontradas previamente para Bahía Magdalena (Torres-Villegas *et al.*, 1995; Félix-Uraga, 2006), aunque Quiñonez-Velázquez *et al.* (2002) reportaron tallas mayores (147-236 mm LP) en 1985-1986. Torres-Villegas *et al.* (1995) en Bahía Magdalena observaron cambios en la moda de las tallas de *S. sagax* durante el periodo 1982-1992, modificándose de 160 mm LP en 1985 a 190 mm LP dos años después, la cual se mantuvo hasta 1992 cuando se redujo a 150 mm LP. Por su lado, García-Franco *et al.* (2001) en Ensenada reportan tallas promedio mayores en el periodo de 1989-1999, que oscilaron entre 200 mm LP al principio, reduciéndose a 170 mm a mitad del periodo para repuntar a 210 mm LP en 1999. Para la región de Oregon y Washington Emmett *et al.* (2005) presentan variaciones muy importantes en la moda, que van de menos de 150 mm LP (2003) a 250 mm LP (2002). Las variaciones en la talla de *S. sagax* pueden asociarse a cambios en el reclutamiento o a la presencia de clases anuales fuertes, así como a cambios en la temperatura, en la cantidad y la calidad del alimento. A pesar de las amplias variaciones en las tallas de *S. sagax* a lo largo de su distribución en la

corriente de California, existe un clinal bien definido, las tallas menores se presentan al sur de su distribución (Bahía Magdalena) tallas medianas en Ensenada y San Pedro, Cal., y las tallas más grandes en la parte norte de Estados Unidos y Canadá (Clark, 1931; Torres-Villegas *et al.*, 1995; García-Franco *et al.*, 2001; Emmett *et al.*, 2005), lo que también sucede en las costas del Atlántico de África y Europa para *S. pilchardus* (Coombs *et al.*, 2006).

Estructura de edad

En los otolitos se observó la alternancia de bandas claras (opacas) y oscuras (hialinas), que conformaron un grupo de edad. Esta apariencia es debida al tipo de iluminación, donde la banda hialina, al estar menos mineralizada, permite el paso de luz y se aprecia oscura, pues la luz se refleja sobre el fondo oscuro que contiene los otolitos. En este trabajo no se abordó la validación de las marcas de crecimiento en los otolitos, ya que existen antecedentes que confirman la periodicidad anual de las marcas de *S. sagax* en la región (Barnes y Foreman, 1994; Nevárez-Martínez *et al.*, 1996; Yaremko, 1996; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002). Por otro lado, la correcta interpretación de las marcas de crecimiento por parte de los lectores es otro elemento importante para la estimación de la edad. En el presente trabajo, las lecturas fueron realizadas de manera independiente por dos expertos, y donde hubo diferencia se llegó a común acuerdo. De esta manera se identificaron seis grupos de edad (0 al 5) para el periodo de estudio, siendo los más abundantes los grupos 1, 2 y 0. Nevárez-Martínez *et al.* (1996) encuentran un patrón similar en la abundancia de grupos de edad para la misma especie en el golfo de California en 1990-1991, aunque el aporte del grupo de edad 2 fue poco más de 40% y en nuestro caso es de 28 por ciento.

Quiñonez-Velázquez *et al.* (2002) encuentran cinco grupos de edad (0-4) para esta especie en el área de estudio durante 1985-1986, con los grupos de edad 1 y 2 dominando las capturas (30.5% y 31%, respectivamente), la diferencia principal con el presente estudio es la sensible disminución de los individuos de tres y cuatro años, pues representaron 23% y 7% en aquellos años, mientras que en este trabajo los individuos

mayores de tres años sólo aportaron 1%. Esta diferencia puede ser debida a un fenómeno común de cualquier pesquería. La reducción de la estructura de las edades en una población que está siendo explotada es un efecto general, en donde los peces más grandes y más viejos son extraídos primero. Sin embargo, si la pesca continúa extrayendo individuos cada vez más jóvenes, hasta pescar a los juveniles, se corre el riesgo de sobreexplotar el recurso, haciendo que el tamaño de la población sea función de las clases de edad recientemente reclutadas. De esta manera, la población se vuelve más susceptible a cambios ambientales de corto plazo. En el caso del *stock* de *S. sagax* que se captura en Bahía Magdalena, éste no muestra signos de deterioro, por el contrario, las edades de los individuos que sostienen las capturas garantizan la continuidad del recurso, pues en 2008 se pescaron más individuos del grupo de edad 2 y menos del grupo de edad 0 que en los años previos (2006-2007). En el golfo de California, durante el inicio de las operaciones de pesca (1973-1975), las capturas eran dominadas por individuos de tres, cuatro y cinco años, a mediados de la década de 1980 por individuos de un año, posteriormente las capturas fueron sostenidas por individuos de uno o dos años, y la presencia de organismos mayores a tres años era escasa (Nevárez-Martínez *et al.*, 1996).

Al igual que las tallas, la estructura de edades de *S. sagax* presenta un clinal latitudinal bien definido (Butler *et al.*, 1996): las edades menores hacia el sur (Bahía Magdalena) con edades medias en Ensenada, BC y San Pedro, Cal., hasta las sardinas con mayor edad al norte de su distribución, alcanzando hasta 12 años durante 1999-2003 en Oregón y Washington (Emmett *et al.*, 2005).

Época de reproducción

La proporción macho:hembra de *S. sagax* presentó diferencias significativas con la proporción esperada 1:1. Se considera que los clupeidos presentan una proporción 1:1 (Amenzoui *et al.*, 2006), lo que ha sido observado en *S. pilchardus* (Méndez-Villamil *et al.*, 1997; Amenzoui *et al.*, 2006). Sin embargo, Ward *et al.* (2008) reportan diferencias significativas en esta proporción en diez de 12 años de estudio (1995-2006) en las

costas de Australia, así como para *S. sagax* en el golfo de California en 1970 (Wong, 1973) y en California durante 1994 (Macewicz *et al.*, 1996). No existe una explicación clara a los cambios en la proporción sexual, algunos autores mencionan la posibilidad de que existan cardúmenes de un solo sexo (Wong, 1973), lo que sesgaría esta proporción, pero esta situación no se observó en el presente estudio.

Sardinops sagax es un desovador múltiple con una maduración asincrónica. Clark (1931) menciona para esta especie en California, que cada pez puede madurar tres grupos de ovocitos durante la temporada reproductiva, indicando varios desoves. Durante los tres años de estudio se observó la presencia de organismos maduros de *S. sagax* a lo largo del año, lo que es una situación común en los clupeidos, considerándose como parte de su estrategia reproductiva.

La mayor abundancia de organismos inmaduros, tanto machos como hembras, ocurrió en los meses de septiembre a noviembre. Torres-Villegas *et al.* (1995) encontraron el mayor porcentaje de organismos en estadio I en los meses de noviembre-diciembre en el periodo 1982-1992, que pueden considerarse como inmaduros. Estos organismos pueden provenir de la reproducción que ocurre a principios de año, y representar el reclutamiento para la pesquería.

De manera particular para Bahía Magdalena, se observó el pico de reproducción de diciembre a marzo, y un segundo pico en junio-julio. Este comportamiento fue reportado por Torres-Villegas *et al.* (1995) que analizaron una serie de diez años (1982-1992), con los máximos de hembras maduras de diciembre a abril, y un segundo pico más pequeño en junio-julio. Sin embargo, este patrón puede sufrir variaciones sustanciales, como sucedió en 1999-2000, cuando la temporada reproductiva se redujo a enero y marzo de 2000, con una disminución de 40% de la abundancia relativa de hembras maduras en la población en esos meses, esto se asoció a condiciones anómalas de temperatura y alimentación (Torres-Villegas *et al.*, 2007). Por otro lado, Hernández-Vázquez (1994) reporta que la época de reproducción en la región sur de la distribución de *S. sagax* en la CC (Punta Eugenia y Bahía Magdalena) ocurre de agosto a octubre,

basándose en la presencia de huevos y larvas alrededor de esa zona. Esto puede estar asociado al segundo pico reproductivo encontrado en el presente trabajo y que mencionan Torres-Villegas *et al.* (1995).

La reproducción de *S. sagax* ocurrió principalmente durante el periodo frío en la zona de estudio, lo que es una característica común para otras especies de sardinas, *S. pilchardus* en el Mediterráneo (Voulgaridou y Stergiou, 2003), en el Atlántico (Amenzoui *et al.*, 2006), o para la misma especie en otras zonas, como sucede en el golfo de California (Nevárez-Martínez *et al.*, 1996). Por otro lado, en Chile, el principal pico reproductivo tiene lugar entre agosto y septiembre, que corresponde al periodo frío en el hemisferio sur (Claramunt *et al.*, 2007); en tanto que en el sur de Australia *S. sagax* se reproduce en el verano-otoño y en el invierno-primavera para el sur de Queensland, cuando la temperatura del mar está por debajo de 23 °C (Ward y Staunton-Smith, 2002). Coombs *et al.* (2006) reportan una amplia variación en las temperaturas y épocas de reproducción para *S. pilchardus* a lo largo de la costa atlántica de Europa y África, con un intervalo óptimo de 13 °C a 18 °C, similar al reportado por Lluch-Belda *et al.* (1991) para *S. sagax* en Bahía Magdalena. Para *S. pilchardus* en Australia, Ward y Staunton-Smith (2002) indican que la reproducción ocurre en un intervalo de 13 °C a 24 °C. Estas variaciones de temperatura demuestran la plasticidad reproductiva de la especie, además de que permite un clinal latitudinal reproductivo, donde la temporada de desove se retrasa conforme se incrementa la latitud; de esta manera, *S. sagax* en la CC se reproduce a principios de año en Bahía Magdalena, en California de abril a mayo (Clark, 1931; Hernández-Vázquez, 1994; Macewicz *et al.*, 1996) y durante la tercera época del año en Oregón y Washington, EU (Emmett *et al.*, 2005).

No obstante que el periodo de estudio analizado en el presente trabajo es corto, es posible suponer que las variaciones observadas en las capturas en estos años, son resultado de la gran plasticidad de esta especie, ya que los parámetros biológicos analizados no muestran efectos de deterioro en la población.

Conclusiones

- *Sardinops sagax* fue la principal especie de pelágico menor que se capturó en Bahía Magdalena.
- Las capturas de sardina del Pacífico presentaron un patrón que se ajustó a la tendencia mensual histórica para la zona.
- El esfuerzo estuvo determinado por la abundancia de *S. sagax*.
- La CPUE fue un indicador relativo de la abundancia de *S. sagax*.
- La mayoría de los individuos capturados (82%) fue de adultos de uno y dos años de edad.
- La época de reproducción ocurrió a principios de año coincidiendo con las temperaturas frías en la zona de estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por los apoyos otorgados para la realización de este trabajo por medio de los proyectos SIP20080323, Efecto del evento El Niño en los parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en la costa occidental de la península de Baja California; SIP20091073, Demografía espacio temporal de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax* Jenyns, 1842) en las costas de la península de Baja California y SIP20080754, Patrón reproductivo de la sardina del Pacífico en la costa oeste de la península de Baja California. Los autores son becarios COFAA y EDI.

Literatura citada

- AMENZOU, K., F. Ferhan-Tachinante, A. Yahyaoui, S. Kifani y A.H. Mesfioui. 2006. Analysis of the cycle of reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the Moroccan Atlantic coast. *Animal Biology and Patology* 329: 892-901.
- BARNES, J.T. y T.J. Foreman. 1994. Recent evidence for the formation of annual growth increments in the otoliths of young Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *California fish and game* 80(1): 29-35.
- BRINTON, E. y J.L. Reid. 1986. On the effects of interannual variations in circulation and temperature upon euphasiids of the California Current. En: A.C. Pierrot-Bults, S. Vander Spoel, B.J. Zahuarence y R.K. Johnson (eds.). *Pelagic Biogeography*. UNESCO Technical Papers in Marine Science 49: 25-34.
- BUTLER, J.L., M.L. Granados. G., J.T. Barnes, M. Yaremko y B.J. Macewicz. 1996. Age composition, growth, and maturation of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 37: 152-159.
- CISNEROS-MATA, M.Á., G. Montemayor-López y M.O. Nevárez-Martínez. 1996. Modeling deterministic effects of age structure, density dependence, environmental forcing, and fishing on the population dynamics of *Sardinops sagax caeruleus* in the gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 37: 201-208.
- CLARAMUNT, G., R. Serra, L.R. Castro y L. Cubillos. 2007. Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fisheries Research* 85: 248-257.
- CLARK, F.N. 1931. Maturity of the California sardine (*Sardina caerulea*), determined by ova diameter measurements. *Fish Bulletin* No. 42. Division of Fish and Game of California. Bureau of Commercial Fisheries. 51p.
- COOMBS, S.H., T.J. Smyth, D.V.P. Conway, N.C. Halliday, M. Bernal, Y. Stratoudakis y P. Álvarez. 2006. Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom* 86: 1245-1252.
- EMMETT, R.L., R.D. Brodeur, T.W. Miller, S.S. Pool, P.J. Bentley, G.K. Krutzikowsky y J. McCrae. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) abundance, distribution, and ecological relationships in the Pacific

- northwest. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 46: 122-143.
- FÉLIX-URAGA, R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el sur de California. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BCS, México. 86p.
- FÉLIX-URAGA, R., R.M. Alvarado-Castillo y R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the Western coast of Baja California, 1981 to 1994. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 37: 188-192.
- FÉLIX-URAGA, R., V.M. Gómez-Muñoz, C. Quiñonez-Velázquez, F.N. Melo-Barrera y W. García-Franco. 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the West coast of Baja California and southern California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 45: 146-151.
- FRÉON, P., P. Cury, L. Shannon y C. Roy. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: A review. *Bulletin of Marine Science* 76(2): 385-462.
- GARCÍA-FRANCO, W., A. Cota-Villavicencio y F.J. Sánchez-Ruiz. 2001. Diagnóstico de la pesquería de peces pelágicos menores en la costa occidental de Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 14: 113-120.
- GATICA, C., M. Arteaga, J. Giacaman y P. Ruiz. 2007. Tendencias en la biomasa de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur de Chile, entre 1991 y 2005. *Investigaciones Marinas Valparaíso* 35(1): 13-24.
- HAGGARTY, D.R. y J.R. King. 2006. CPUE as an index of relative abundance for near shore reef fishes. *Fisheries Research* 81: 89-96.
- HERNÁNDEZ-TRUJILLO, S., R. Palomares-García, G.A. López-Ibarra, G. Esqueda-Escárcega y R. Pacheco-Chávez. 2004. Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Anales del Instituto del Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 75: 253-270.
- HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 35: 94-107.
- HOLDEN, M.J. y D.F.S. Raitt. 1975. *Manual de ciencia pesquera*. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. *FAO Documento técnico de pesca* 115: 211p.
- LLUCH-BELDA, D., F.J. Magallon y R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the gulf of California: Possible causes. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 27: 136-140.
- LLUCH-BELDA, D., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. Salinas-Zavala y R.A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California Current System. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 32: 105-111.
- MACEWICZ, B.C., J.C. González, C.E. Coterro-Altamirano y J.R. Hunter. 1996. Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 37: 140-151.
- MÉNDEZ-VILLAMIL, M.M., J.M. Lorenzo-Nespereira, J.M. González-Pajuelo y R. Soto-Aguilera. 1997. Periodo reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) en aguas de Gran Canaria (Islas Canarias). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 13(1 y 2): 47-55.
- NEVÁREZ-MARTÍNEZ, M.O., M.Á. Cisneros-Mata, G. Montemayor-López y P. Santos-Molina. 1996. Estructura por edad y crecimiento de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) del golfo de California, México: Temporada de pesca 1990-1991. *Ciencia Pesquera* 13: 30-36.
- NEVÁREZ-MARTÍNEZ, M.O., E.A. Chávez, M.Á. Cisneros-Mata y D. Lluch-Belda. 1999. Modeling of the Pacific sardine, *Sardinops caeruleus*, fishery of the gulf of California, Mexico. *Fisheries Research* 41: 273-283.
- NEVÁREZ-MARTÍNEZ, M.O., D. Lluch-Belda, M.Á. Cisneros-Mata, J.P. Santos-Molina,

- M.Á. Martínez-Zavala y S.E. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the gulf of California and their relation with the environment. *Progress in Oceanography* 49 (1-4): 565-580.
- PEDRAZA-GARCÍA, M. y L.A. Cubillos. 2008. Population dynamics of two small pelagic fish in the central-south area off Chile: delayed density-dependence and biological interaction. *Environmental Biology of Fish* (82): 111-122.
- QUÍÑONEZ-VELÁZQUEZ, C., R. Alvarado-Castillo y R. Félix-Uraga. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) (Girard, 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37(1): 1-8.
- SAGARPA. 2004. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca*. CONAPESCA. México. 205p.
- SCHWARTZLOSE, R.A., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R. Crawford, W. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, A.D. MacCall, Y. Matsuura, M. Nevárez-Martínez, R. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. Shust, M. Ward y J. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science* 21(1): 289-347.
- TORRES-VILLEGAS, J.R., R.I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez-Álvarez y G. García-Melgar. 1995. Comparison of seasonal variability in reproduction of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) from Baja California Sur, Mexico, in the years 1982-1992. *Scientia Marina* 59: 255-264.
- TORRES-VILLEGAS, J.R., R.I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez y G. García-Melgar. 2007. Estimaciones de atresia mayor en la temporada reproductiva 1999-2000 en la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en Bahía Magdalena, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 299-310.
- VERDOIT, M., D. Pelletier y R. Bellail. 2003. Are commercial logbook and scientific CPUE data useful for characterizing the spatial and seasonal distribution of exploited populations? The case of the Celtic Sea whiting. *Aquatic Living Resources* 16(6): 467-485.
- VOULGARIDOU, P. y K.I. Stergiou. 2003. Trend in various biological parameters of the european sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Eastern Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 67(1): 269-280.
- WARD, T.M. y J. Staunton-Smith. 2002. Comparison of the spawning patterns and fisheries biology of the sardine, *Sardinops sagax*, in temperate South Australia and subtropical southern Queensland. *Fisheries Research* 56: 37-49.
- WARD, T.M., G.J. Ferguson y P. Rogers. 2008. The South Australian sardine (*Sardinops sagax*) fishery. Fishery Assessment Report to PIRSA Fisheries. South Australian Research and Development Institute (Aquatic Sciences), Adelaide, F2007/000765, *Research Report Series No.* 262. 75p.
- WONG, M. 1973. Biología de la sardina del golfo de California (*Sardinops sagax caerulea*). *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 17: 97-100.
- YAREMKO, M. 1996. *Age determination in Pacific sardine, Sardinops sagax*. NOAA-TM-NMFS-SWFC-223, 36p.

Recibido: 7 de octubre de 2009.

Aceptado: 20 de agosto de 2010.