

EVALUACIÓN POBLACIONAL DEL STOCK EXPLOTABLE DEL COMPLEJO *OPISTHONEMA* (PISCES: CLUPEIDAE) EN EL GOLFO DE NICOYA, COSTA RICA

Luis A. Vega Corrales^{1,2}

RESUMEN

El género *Opisthonema* sustenta la pesquería de sardina en Costa Rica. Esta investigación se orientó hacia la evaluación poblacional del stock explotable de esta pesquería en el Golfo de Nicoya. Las muestras mensuales fueron recolectadas desde junio del 2007 hasta mayo del 2008. Se determinó el patrón de reproducción de *O. libertate* y se estimaron los parámetros de crecimiento de las curvas en longitud del modelo de von Bertalanffy para *O. libertate* y *O. medirastre*. Con base en el índice gonadosomático, *O. libertate* desova intensamente durante la época más calurosa del año, entre febrero y mayo. La talla de primera madurez ($TPM_{50\%}$) fue de 18.68 cm de LT. La ecuación de crecimiento de von Bertalanffy estimada para *O. libertate* fue: $Lt= 25.9 [1-\exp^{-1.03(+0.13)}]$ y para *O. medirastre*: $Lt= 32.0 [1-\exp^{-1.10(+0.15)}]$. El reclutamiento máximo de la pesquería de *O. libertate* ocurre entre septiembre y noviembre. Esta especie muestra un índice de explotación (E) de 0.65 y *O. medirastre* de 0.55. Se nota una mejoría en el E comparado con estimaciones anteriores. Se recomienda como medida de manejo para esta pesquería ajustar la época de veda y no incrementar el esfuerzo pesquero.

Palabras claves: Sardina, *Opisthonema*, evaluación poblacional, Golfo de Nicoya, Costa Rica.

ABSTRACT

The *Opisthonema* genus supports the sardine fishery in Costa Rica. This research was directed to population assessment of the exploitable stock of this fishery in the Nicoya Gulf. Monthly samples were collected from June 2007 to May 2008. The reproductive pattern of *O. libertate* was determined and growth parameters of curves in the length of *O. libertate* and *O. medirastre* were estimated using the von Bertalanffy model. Based on the gonadosomatic index, *O. libertate* spawn intensively during the hottest time of the year, between February and May. The size at first maturity ($SFM_{50\%}$) was 18.68 cm T.L. The growth equation of von Bertalanffy was estimated for *O. libertate*: $Tl= 25.9 [1-\exp^{-1.03(+0.13)}]$ and *O. medirastre*: $Tl= 32.0 [1-\exp^{-1.10(+0.15)}]$. The maximum recruitment to the fishery of *O. libertate* occurs between September and November. This species shows an exploitation index (E) of 0.65 and *O. medirastre* has an E value of 0.55. There is an improvement in the E value, as compared to previous values. It is recommended as a management measure to adjust the closing season and to avoid any increment of the fishing effort.

Keywords: Sardine, *Opisthonema*, population assessment, Nicoya Gulf, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Las tres especies del género *Opisthonema* (*O. libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*) sustentan la pesquería de sardina en Costa Rica. A este grupo de especies se les puede definir como complejo *Opisthonema*, debido

a que ocupan las mismas áreas de pesca, son fenotípicamente parecidas, tienen el mismo interés o valor comercial y son capturadas con las mismas artes de pesca (Csirke, 1980; Stevenson y Carranza, 1981).

Estudios previos sobre este género en el país se han basado en la taxonomía

1 PROCMAR-UNA, Programa de Maestría de Ciencias Marinas y Costeras, Universidad Nacional, Costa Rica.

2 EBM-UNA, Estación de Biología Marina, Universidad Nacional, Costa Rica. lvega@una.ac.cr

Recibido 26-III-2010

Aceptado 24-VI-2010

(Bussing y López, 1993; Berry y Barrett, 1963), la pesquería (Stevenson y Carranza, 1981), los parámetros poblacionales (Rodríguez *et al.* 1999; Soto, 1999; Soto y Rodríguez, 1999), la reproducción (Rodríguez *et al.* 1986, 1989, 1999; Soto, 1999) y el crecimiento (Viquez *et al.* 1990, 1992).

Investigaciones pesqueras han demostrado que los parámetros poblacionales de una especie cambian en relación con el tiempo, y dependiendo del grado de explotación de la población, su talla de primera madurez varía como estrategia reproductiva para alcanzar un nuevo punto de equilibrio biológico (Gulland, 1971; Csirke, 1980). De esta manera, considerar a la población íctica en estudio como un ente que cambia de tamaño, estructura y composición, justifica su monitoreo en el tiempo y la identificación de las circunstancias exógenas que la afectan, como por ejemplo, la mortalidad por pesca, que es la principal causa en la reducción de poblaciones de peces y que, finalmente, es la que se puede detectar y controlar (Sparre y Venema, 1995).

El objetivo de esta investigación fue determinar la distribución por especie, el período de desove, la talla de primera madurez y la dinámica poblacional del stock explotable del complejo *Opisthonema* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, para conocer su estado actual de explotación y caracterizar normas fundamentales para el manejo de esta pesquería.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los 2 831 especímenes de la población del complejo *Opisthonema* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, fueron recolectados mensualmente, entre junio del 2007 y mayo del 2008, en la parte externa del Golfo de Nicoya (09° 52' N y 84° 45' W) a bordo del buque Cap. Villa.

Para asegurar una buena distribución de las frecuencias de las tallas capturadas, las muestras fueron obtenidas de submuestras recolectadas al azar de cada uno de los lances realizados durante el viaje de pesca.

Los especímenes fueron clasificados taxonómicamente por medio de la clave propuesta por Berry y Barrett (1963); se les registró la longitud total (LT) y estándar (LS) en centímetros con ± 0.05 cm de precisión y el peso total (PT) y de la gónada (PG) en gramos con ± 0.005 g de precisión.

La identificación por sexo se realizó mediante disección y caracterización gonádica, su desarrollo fue determinado utilizando la escala macroscópica propuesta por Rodríguez *et al.* (1986) y modificada por Vega-Cendejas *et al.* (1997):

- **Estadio I:** Sardina indefinida, ausencia de gónadas, no es posible definir el sexo, se presenta en individuos jóvenes.
- **Estadio II:** Sardina virgen, gónadas pequeñas, huevos no visibles a simple vista, ovarios de color blanco o rojizo claro; testículos de blanquecinos a rojizos o grisáceos.
- **Estadio III:** Sardina madura, las gónadas ocupan casi la mitad del cuerpo, de 2 a 3 cm de largo, los huevos visibles son relativamente pocos. Ovario de color vino, rojizo o naranja, en los casos de reabsorción se pueden ver vasos sanguíneos prominentes; testículos grisáceos.
- **Estadio IV:** Sardina en desove, gónada grande, huevos observables a simple vista, estos son redondos, opacos o transparentes, de color naranja o amarillento; testículos blancos en diferentes tonalidades.
- **Estadio V:** Sardina desovada, gónada grande en forma de bolsa ensangrentada, ovarios vacíos o con huevos residuales; testículos largos y flácidos, pueden contener remanentes de esperma.

La época de máximo desove para *O. libertate* se obtuvo al comparar los máximos valores mensuales del índice gonadosomático: $IGS = (PT * PG) / 100$ (García-Abad *et al.* 1998), con la abundancia por mes de individuos maduros (\geq estadio III). Esta época fue comparada con los datos medios mensuales de precipitación y temperatura ambiental de la Estación Meteorológica de Puntarenas ($09^{\circ} 58' N$ y $84^{\circ} 50' W$; elevación 3 m), para el período de muestreo, facilitada por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

La talla media de primera madurez sexual ($TPM_{50\%}$) de las hembras de *O. libertate* se obtuvo estimando la fracción de ejemplares maduros (\geq estadio III) en cada intervalo de talla, mediante la siguiente ecuación de la curva logística: $FM_{(L)} = 1 / (1 + e^{(S_1 - S_2 * L)})$. Donde: $FM_{(L)}$ es la proporción de individuos maduros en cada talla; S_1 y S_2 son constantes del modelo; L es la marca de clase de la longitud de referencia. Para calcular S_1 y S_2 se usó la ecuación de la regresión lineal: $\ln(1/F_{(L)} - 1) = S_1 - S_2 * L$. Donde: $F_{(L)}$ es la fracción de especímenes maduros (\geq estadio III) en cada intervalo de talla; L es la marca de clase; $S_1 = a$ y $S_2 = -b$. La $TPM_{50\%} = S_1 / S_2$ (Gassman *et al.* 2008).

Las frecuencias de longitud de *O. libertate* y *O. medirastre* fueron analizadas por medio del paquete estadístico FiSAT (FAO-IOCLARM Stock Assessment Tool) (Gayanilo y Pauly, 1994), para obtener los parámetros de crecimiento para la ecuación de von Bertalanffy: $L_t = L_{\infty} [1 - \exp^{-k(t-t_0)}]$. Donde: L_t = longitud del pez a la edad "t"; L_{∞} = constante, longitud asintótica (cm) (longitud que el pez puede alcanzar cuanto $t \rightarrow \infty$); K = constante, coeficiente de crecimiento; t = edad (años); t_0 = representa la edad del pez (años) cuando su longitud es igual a cero; este parámetro fue estimado por medio de la ecuación de Pauly:

$$\text{Log}(-t_0) = -0.3922 - (0.2752 \text{Log} L_{\infty} (\text{cm})) - (1.038 \text{Log} K / \text{año}).$$

Para obtener mayor confiabilidad, los parámetros de crecimiento obtenidos fueron comparados con los resultados reportados por otros autores, mediante el índice de crecimiento estándar "phi intraespecífico", $\phi = \text{Log} K + 2 \text{Log} L_{\infty}$.

La edad límite ($A_{0.95}$) fue calculada según el criterio de Taylor (González-Cabellós y Mengual-Izquierdo, 1995): $A_{0.95} = t_0 + 2.996 / K$. Donde: $A_{0.95}$ = edad límite del tiempo requerido para alcanzar el 95% de L_{∞} . Para obtener los patrones de reclutamiento se graficaron, por medio de FiSAT, las frecuencias de longitud por retrocálculo sobre el tiempo (Gayanilo y Pauly, 1994).

La mortalidad natural (M) y la total (Z) fueron calculadas por medio de FiSAT. Z utilizando el método de Beverton y Holt y M mediante la fórmula empírica de Pauly: $\ln M = -0.0152 - 0.279 * \ln L_{\infty} + 0.6543 * \ln K + 0.463 * \ln T$ (Sparre y Venema, 1995). Donde la $T = 28^{\circ}C$, temperatura media anual descrita para el Golfo de Nicoya, con pocas variaciones a través del año (Valdés *et al.* 1987, citado en Soto, 1999). De esta manera, obteniendo Z y M se calculó la mortalidad por pesca (F), a través de $Z = F + M$, lo cual permite determinar el coeficiente de explotación (E) de la siguiente manera: $E = F / Z$ (Gulland, 1971).

Finalmente, se determinaron la frecuencia acumulada de tallas de *O. libertate* y el porcentaje de especímenes y biomasa que están siendo capturados antes de alcanzar la $TPM_{50\%}$ estimada.

RESULTADOS

O. libertate es la especie más abundante (78.4%) de los 2 831 especímenes del complejo *Opisthonema* analizados de la captura en el Golfo de Nicoya, Costa

Rica, seguida por *O. medirastre* (16.9%) y *O. bulleri* (4.7%) (Cuadro 1).

La poca representatividad de *O. medirastre* y *O. bulleri*, en porcentaje de abundancia y discontinuidad en aparición mensual durante el año de muestreo, hace que los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy, la edad límite y las tasas de mortalidad estimadas para *O. medirastre* sean poco confiables, en tanto que para *O. bulleri* no se pudieron realizar, debido a que existía alta probabilidad de obtener un sesgo importante entre el valor estimado y el verdadero (Cuadro 1 y Fig. 1).

La elevada media del IGS (≈ 1.5) y la alta prevalencia (>50%) de hembras con gónadas maduras (III-V) encontradas, durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo, demuestran el período con mayor intensidad de desove para *O. libertate* en el área de estudio (Fig. 2 y Fig. 3).

Esta época de máximo desove muestra correspondencia con los meses que presentan menor precipitación y máxima temperatura ambiental (Fig. 4).

La proporción de especímenes maduros (\geq estadio III) por frecuencia de talla se muestra en el cuadro 2. Las constantes de la ecuación logística estimadas por la regresión lineal para *O. libertate* correspondieron a:

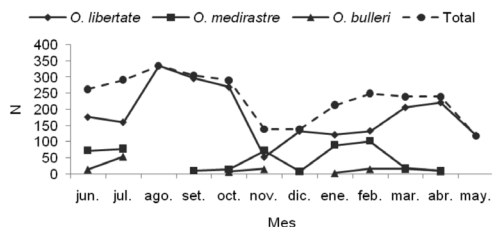


Fig. 1. Número de especímenes muestreados por especie del complejo *Opisthonema* de las capturas por mes en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 1. Number of organisms by specie, accord into to the catch by month of *Opisthonema* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

$S_1 = 16.254$ y $S_2 = 0.8703$, y según la ecuación obtenida de la función logística de mejor ajuste, la $TPM_{50\%}$ para esta especie es alcanzada a los 18.68 cm de LT (Fig. 5).

La aproximación entre los valores \emptyset' , reportados por otros autores en diferentes localidades, valida los parámetros poblacionales de la ecuación de von Bertalanffy, estimados para *O. libertate* y *O. medirastre*. Este índice presenta, para cada una de las especies, mayor similitud con respecto a la misma área de estudio. *O. libertate* muestra una disminución en la L_∞ (Cuadro 3).

Las curvas de crecimiento en longitud, para *O. libertate* y *O. medirastre*, describen un crecimiento acelerado en el primer año de edad para cada una de las especies (Fig. 6). La $A_{0.95}$ calculada para *O. libertate* fue igual a 2.78 años y para *O. medirastre* de 2.57 años; luego de esta talla, la tasa de crecimiento es cercana a cero. De acuerdo con la ecuación de crecimiento en longitud, la $TPM_{50\%}$ estimada para *O. libertate* se alcanza a los 13.32 meses de edad y la talla mínima de captura permitida para esta pesquería (15 cm de LT) (INCOPECA, 1998) a los 8.52 meses.

El patrón de reclutamiento presentó una sola moda entre septiembre y noviembre, donde se concentró más del 75% de

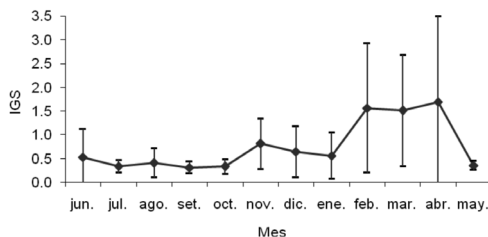


Fig. 2. Media del índice gonadosomático mensual \pm D.S. para las hembras de *O. libertate* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 2. Monthly gonadosomatic index \pm SD of female *O. libertate* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

Cuadro 1. Número de especímenes por especie del complejo *Opisthonema* y sus respectivos límites de longitud total y peso total muestreados de la captura en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Table 1. Number of organisms by specie and their length total and weight total limits, according to the catch of *Opisthonema* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

	Especie		
	<i>O. libertate</i>	<i>O. mediraastre</i>	<i>O. bulleri</i>
N	2 220	478	133
LT _(max)	25.6	31.2	29.7
LT _(min)	10.6	11	13.4
PT _(max)	169.02	304.24	264.55
PT _(min)	11.29	12.95	20.87

N= número de especímenes; LT= longitud total (cm); PT= peso total (g).

Cuadro 2. Fracción de especímenes maduros en estadio III-V de *O. libertate* en cada intervalo de talla, durante el período de muestreo en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Table 2. *O. libertate* mature specimens in stage III-V in each length interval during the sampling period in Golfo de Nicoya, Costa Rica

L	F _(L)
14.5	0.000
15.5	0.070
16.5	0.109
17.5	0.238
18.5	0.508
19.5	0.667
20.5	0.990
21.5	1.000

F_(L) = fracción de especímenes maduros;
L = intervalo de talla.

Cuadro 3. Parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy para el complejo *Opisthonema*, estimados por diferentes autores

Table 3. von Bertalanffy growth parameters determined by different authors for *Opisthonema*

Fuente	Localidad	Especie		L _∞ (cm)	K (años ⁻¹)	t ₀ (años)	Ø'	Talla
Fuentes (1983)	Ecuador	<i>Opisthonema spp.</i>		31.7	0.216	-2.52	2.34	LT
Gallardo <i>et al.</i> (1993)	Golfo California Sur	<i>O. libertate</i>		20.8	0.3923	-1.381	2.23	LS
Carmona y Alexandres (1994)	Bahía Magdalena, California Sur	<i>O. libertate</i>		19.4	0.812	-0.015	2.49	LS
Soto y Rodríguez (1999)	Pacífico Costa Rica	<i>O. mediraastre</i>	H	30.6	0.96	-0.16	2.95	LT
			M	28.0	1.2	-0.13	2.97	
Soto (1999)	Golfo Nicoya, Costa Rica	<i>O. libertate</i>	H	30.0	1.6	-0.10	3.16	LT
			M	30.1	1.1	-0.14	3.00	
		<i>O. bulleri</i>	H	29.8	1.1	-0.15	2.99	
			M	29.5	1.4	-0.11	3.09	
Rodríguez <i>et al.</i> (1999)	Golfo Nicoya, Costa Rica	<i>O. libertate</i>		36.0	1.1	-0.14	3.15	LT
		<i>O. mediraastre</i>		34.6	1.1	-0.13	3.12	
		<i>O. bulleri</i>		31.0	0.7	-0.22	2.83	
Este trabajo	Golfo Nicoya, Costa Rica	<i>O. libertate</i>		25.9	1.03	-0.13	2.84	LT
		<i>O. mediraastre</i>		32.0	1.10	-0.15	3.05	

H= hembras; M= machos; LT= longitud total; LS= longitud estándar.

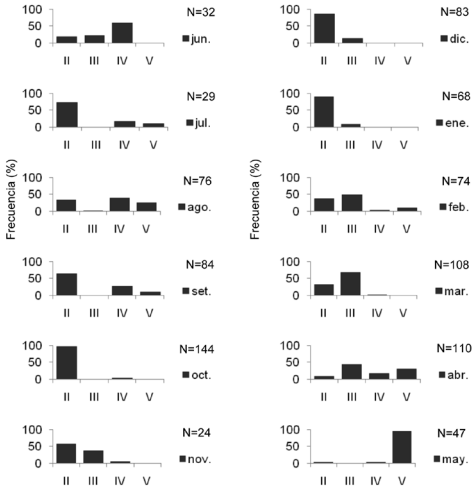


Fig. 3. Porcentaje de frecuencia mensual de los estados de madurez en hembras de *O. libertate* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 3. Monthly percentage frequency of the maturity stages in female *O. libertate* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

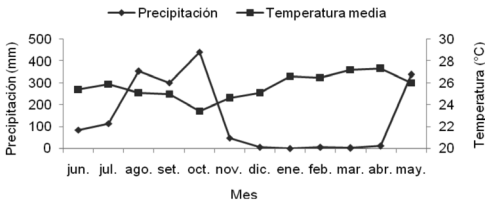


Fig. 4. Precipitación acumulada y temperatura media mensual ambiental para los meses de muestreo de la Estación Meteorológica de Puntarenas, Costa Rica. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica

Fig. 4. Monthly accumulated precipitation and environmental average temperature during the sampling period of Estación Meteorológica, Puntarenas, Costa Rica. Taked from: Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica

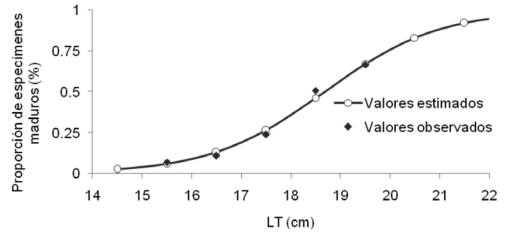


Fig. 5. Proporción de individuos maduros (estado III-V) por LT, a partir de la ecuación de la curva logística $FM_{(L)} = 1/1+e^{(S1-S2*L)}$, para obtener la $TPM_{50\%}$ de *O. libertate*, en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 5. Mature organisms proportion (stage III-V) by TL, from the logistic curve equation $FM_{(L)} = 1/1+e^{(S1-S2*L)}$, to obtain $SFM_{50\%}$ of *O. libertate*, in Golfo de Nicoya, Costa Rica

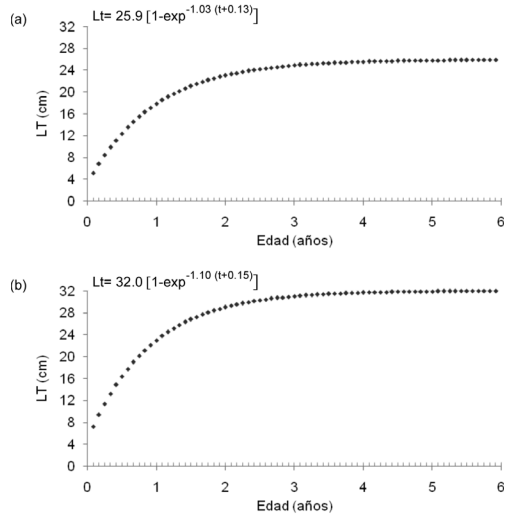


Fig. 6. Curva de crecimiento en longitud para a) *O. libertate* y b) *O. medirastre*, en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 6. Growth cruved based in length for a) *O. libertate* and b) *O. medirastre* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

Cuadro 4. Tasas de mortalidad y coeficiente de explotación para el stock explotable de *O. libertate* y *O. medirastre* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Table 4. Mortality rate and exploitation ratio of the exploitable stock of *O. libertate* and *O. medirastre* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

Especie	M	F	Z	E
<i>O. libertate</i>	1.89	3.55	5.44	0.65
<i>O. medirastre</i>	1.86	2.31	4.17	0.55

M= mortalidad natural; F= mortalidad por pesca; Z= mortalidad total; E= índice de explotación.

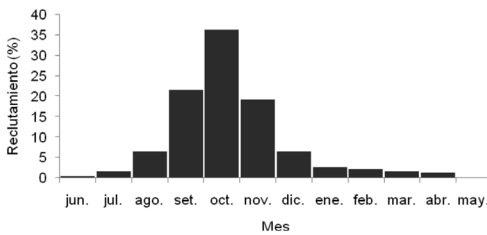


Fig. 7. Patrón de reclutamiento para *O. libertate* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 7. Recruitment patterns for *O. libertate* in Golfo de Nicoya, Costa Rica

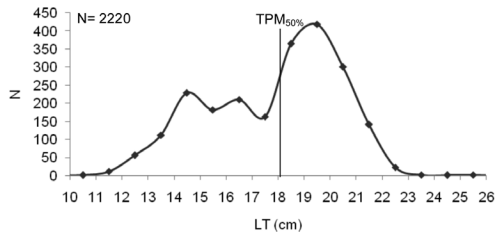


Fig. 8. Frecuencia de tallas de la captura de *O. libertate* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

Fig. 8. Length frequency of *O. libertate* catch in Golfo de Nicoya, Costa Rica

los reclutas, con la máxima intensidad en octubre (Fig. 7), mes que presenta la mayor precipitación y la menor temperatura ambiental en el área de estudio (Fig. 4).

Las tasas de mortalidad natural para ambas poblaciones (*O. libertate* y *O. medirastre*) son muy similares, sin embargo, presentan variación en la mortalidad por pesca. Ambos stock se encuentran en un estado de sobreexplotación (Cuadro 4).

La distribución de la frecuencia de tallas acumuladas de la captura de los especímenes de *O. libertate* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, se muestra en la figura 8.

De acuerdo con la $TPM_{50\%}$ definida para *O. libertate*, el 43% de los especímenes de esta especie están siendo capturados antes de alcanzar su talla media de reproducción, lo cual corresponde al 25% de la biomasa total capturada.

DISCUSIÓN

La composición por especie obtenida presenta una gran relación con lo reportado por Berry y Barrett (1963), a partir de 19 recolecciones hechas en el Golfo de Nicoya, entre los años 1952 y 1960, cuando la pesquería de sardina no había iniciado en el país. Al igual que en el Golfo de California, *O. libertate* es la especie del complejo *Opisthonema* que presenta el mayor aporte en las capturas (Ruiz y Lyle, 1992). *O. bulleri*, en las costas de Sinaloa y Nayarit, México, también es la especie que ocupa el tercer lugar en las capturas de este género (Castro-González *et al.* 1997). Esto sugiere que la composición por especie en las capturas del complejo *Opisthonema*, en el área de estudio, refleja la abundancia por especie en el medio ambiente. Además, indica, como mencionan Stevenson y Carranza (1981), que

esta pesquería está destinada a la captura simultánea de las tres especies de este género y no existe evidencia para determinar que sea selectiva.

La discontinuidad en la aparición mensual de *O. medirastre* y *O. bulleri*, en las capturas de este complejo en el Pacífico de Costa Rica, ha sido reportada anteriormente (Rodríguez *et al.* 1999; Soto, 1999). Esta condición y la abundancia por especie posiblemente estén determinadas por alguna condición ecológica, establecida sobre todo por la temperatura (López-Lemus, 1993). Soto (1999) y Castro-González *et al.* (1997) atribuyen la variabilidad temporal de aparición y la poca abundancia de *O. bulleri* en aguas someras, a que su hábitat es más oceánico.

La presencia de varios estadios de madurez, durante la mayoría de los meses del año de muestreo, evidencian que *O. libertate* se reproduce durante todo el año, lo cual refuerza las observaciones de Peterson (1956), Rodríguez *et al.* (1986) y Stevenson y Carranza (1981). El análisis del IGS mostró que el período máximo de desove para esta especie se presenta durante los meses más calurosos del año. García-Abad *et al.* (1998), Funes-Rodríguez *et al.* (2001) y Moser *et al.* (1974), han definido que las especies del género *Opisthonema* desovan predominantemente cuando la temperatura de la superficie del mar alcanza sus máximos en verano.

Funes-Rodríguez *et al.* (2001) describen que la época de desove de los pequeños pelágicos probablemente esté condicionada, para que cuando ocurra el afloramiento estacional del plancton las larvas ya estén presentes. De forma semejante, el desove de *O. libertate*, en el Golfo de Nicoya, precede a los meses de máxima concentración de microfitoplancton (junio-julio) para el área de estudio, según los datos facilitados por el Laboratorio de Fitoplancton Marino

de la Estación de Biología Marina de la Universidad Nacional, Costa Rica.

Lo anterior evidencia que los períodos de veda definidos para esta pesquería, en los años 2007 y 2008 (INCOPECA, 2007, 2008), se encontraban desfasados con respecto al período de máxima reproducción para la especie de mayor abundancia en esta pesquería.

La $TPM_{50\%}$ calculada para *O. libertate* presenta una gran relación con las estimaciones de este parámetro realizadas para la misma población durante la temporada 1985-1986 (Soto, 1999) y para la misma especie en la zona de Mazatlán, México (Páez-Barrera, 1976). Sin embargo, se encuentra por encima de la $TPM_{50\%}$ (11 cm de LT) y de la talla de primera captura permitida (15 cm de LT) (INCOPECA, 1998). Esta situación demuestra un error de ordenación para esta pesquería en la legislación nacional, debido posiblemente a una inadecuada interpretación en la información técnica suministrada.

Stevenson y Carranza (1981) definieron al complejo *Opisthonema* en la costa pacífica de Costa Rica como una sola unidad geográfica de stock. Esto debido a que no existe pesquería de este recurso en ningún otro país de América Central, solamente en Panamá, donde la flota pesquera se concentra en el Golfo de Panamá y no se desplaza hacia el límite con Costa Rica, lo que permite considerar que este estudio está basado en el análisis de una sola comunidad formada por las poblaciones de cada una de las especies simpátricas que constituyen el complejo *Opisthonema*.

El \emptyset' de *O. libertate* y *O. medirastre* mostró similitud entre los parámetros de crecimiento obtenidos y los reportados para estas especies en la misma área de estudio, durante la temporada de 1985-1986 (Soto, 1999) y 1998-1999 (Rodríguez *et*

al. 1999), lo que genera una alta confiabilidad de los parámetros estimados. La disminución en la L_{∞} de *O. libertate* puede responder a las variaciones propias del esfuerzo pesquero, o bien, a los cambios ambientales sufridos por la especie (Csirke, 1980). Las variaciones de \emptyset' , con respecto a los demás autores, podrían ser debidas a las diferencias en el crecimiento de estas especies por habitar en otras latitudes con distintas características ambientales.

La curva de crecimiento para *O. libertate*, obtenida a partir de los parámetros poblacionales de la ecuación de von Bertalanffy, muestra una relación directa entre la época de desove, el tiempo en que tarda la especie para alcanzar la talla mínima de captura permitida y la época de reclutamiento, ya que el desove inicia en febrero y 8.52 meses después (octubre) se obtiene el máximo reclutamiento. Esta situación es considerada como normal, al tratarse de una especie de ciclo de vida corto, condición que fue validada por medio de la edad límite estimada para la especie.

El período de máximo reclutamiento se establece durante la época de lluvias, coincidiendo con lo reportado por Rodríguez *et al.* (1999) y con las observaciones de García-Abad *et al.* (1998). La presencia de prerreclutas durante la mayoría de los meses muestreados, junto con la observación de cardúmenes de juveniles, en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, además de la captura y liberación de 23 TM (según el Capitán) de sardina por debajo de la talla mínima de captura permitida en septiembre, confirman la época de reclutamiento obtenida y comprueban que el reclutamiento de esta población al stock explotable, al igual que su reproducción, son continuos durante todo el año (Peterson, 1956; Rodríguez *et al.* 1986, 1989, 1999; Stevenson y Carranza, 1981).

Las altas tasas de mortalidad natural estimadas para *O. libertate* y *O. medirastre* son justificables, por tratarse de especies de ciclo de vida corto y por ser altamente depredadas, al representar el alimento de un gran número de peces, moluscos y aves (Gallardo-Cabello *et al.* 1991; Mexicano-Cíntora *et al.* 1996), constituyéndose como organismos de gran importancia en la red alimenticia de las aguas del Golfo de Nicoya.

La gran importancia de estas especies para la pesquería de cerco y la industria y su utilización como carnada, sumada a la gran proporción de especímenes capturados antes de que alcancen su $TPM_{50\%}$, hace que su mortalidad por pesca sea mayor que la natural.

La diferencia en las tasas de mortalidad por pesca entre *O. libertate* y *O. medirastre*, a pesar de que ambas especies son igualmente susceptibles a la captura, es aceptable, debido a que son poblaciones genéticamente diferentes (Dennis y López-Lemus, 1988), con estrategias ecológicas distintas.

O. libertate, al ser la especie más abundante en las capturas del complejo *Opisthonema* en el Golfo de Nicoya, muestra un mayor nivel de explotación que *O. medirastre*. Sin embargo, al comparar estos resultados con los definidos por Rodríguez *et al.* (1999), para la misma población durante 1998-1999, se nota una mejoría en el índice de explotación para ambas especies, posiblemente debida a que la cantidad de esfuerzo de pesca que se ha mantenido hasta el momento le ha permitido al stock ir alcanzando un nuevo punto de equilibrio entre la mortalidad por pesca y la natural.

Para el manejo de esta pesquería se recomienda no incrementar el esfuerzo pesquero y establecer dos vedas al año; una durante la época de máxima reproducción,

entre febrero y mayo, para proteger la biomasa desovante, y la otra durante el mes de octubre, para proteger la biomasa virgen.

AGRADECIMIENTOS

A Blue Riviera and Co. Ltda., por aportar las muestras para el estudio y permitir la observación a bordo de su buque sardinero Cap. Villa. Al Instituto Meteorológico Nacional, por proporcionar los datos de los parámetros ambientales y a la Estación de Biología Marina de la Universidad Nacional, por proporcionar la infraestructura y el equipo necesario para los análisis. Al Programa de Maestría en Ciencias Marinas y Costeras de la Universidad Nacional de Costa Rica y a Mauricio Vargas Barquero, Rosa Soto Rojas y Luis Villalobos Chacón, por el asesoramiento durante la investigación. Este estudio fue posible gracias al financiamiento del CONICIT y Sardimar S.A.

BIBLIOGRAFÍA

Berry, H. & Barrett, I. (1963). Guillraker analysis and speciation in the thread hering genus *Opisthonema*. *Inter. Amer. Trop. Tuna. Comm. Bull.*, VII, 113-190.

Bussing, W. & López, M. (1993). Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica meridional. Guía ilustrada. San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. (publicación especial)*, 7-164.

Carmona, R. & Alexandres, F. (1994). Determinación del crecimiento de *Opisthonema libertate* (Clupeiformes: Clupeidae) mediante lectura de otolitos. *Rev. Biol. Trop.*, 42, 233-238.

Castro-González, J. J., Lizárraga-Rodríguez, H. M. & Chapa-Morales, O. (1997). Fecundidad de la sardina cri-

nuda *Opisthonema bulleri* (Pisces: Clupeidae) entre las costas de Sinaloa y Nayarit, México. *Rev. Biol. Trop.*, 44/45, 659-661.

Csirke, J. (1980). *Introducción a la dinámica de poblaciones de peces*. FAO. Doc. Téc. Pesca 92. Roma, Italia: FAO.

Dennis, K. & López-Lemus, L. (1988). Biochemical genetic and morphological divergence among three species of thread herring (*Opisthonema*) in northwest México. *CalCOFI Rep.* XXIX, 110-121.

Fuentes, E. (1983). Estudio preliminar de edad y crecimiento de *Opisthonema spp.* en aguas ecuatorianas. *Rev. Cien. Mar. Limn.*, 2, 109-114.

Funes-Rodríguez, R., Hinojosa-Medina, A., Avendaño-Ibarra, R., Hernández-Rivas, M., Saldiera-Martínez, R. & Watson, W. (2001). Spawning of small pelagic fishes in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, at the beninning of the 1997-1998 El Niño event. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 53, 653-664.

Gallardo, M., Laguarda, A. & Corrales, R. (1993). Análisis de la edad, crecimiento y mortalidad natural de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Gunther, 1868) de las aguas del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 9, 137-146.

Gallardo-Cabello, M., Jacob-Cervantes, M. & Chiappa-Carrara, X. (1991). Análisis de los hábitos alimentarios y del aporte del carbono de las presas a la dieta de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, Gunther 1866 (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 18, 37-48.

García-Abad, M. C., Yáñez-Arancibia, A., Sánchez-Gil, P. & Tapia-García, M. (1998). Distribución, abundancia y

- reproducción de *Opisthonema oglinum* (Pisces: Clupeidae) en la plataforma continental del sur del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.*, 46, 257-266.
- Gassman, J., Esclava, N. & González, L. (2008). Reproducción de la sardina, *Sardinella aurata* (Clupeiformes: Clupeidae) del sureste de la Isla de Margarita, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 56, 1813-1824.
- Gayanilo, F. & Pauly, D. (1994). *The FAO-ICLARM stock assessment, tools (FiSAT). User Guide*. Roma, Italia: FAO.
- González-Cabellos, L. & Mengual-Izquierdo, A. (1995). Edad y crecimiento del machuelo, *Opisthonema oglinum* (Le Sueur, 1818) (Teleostei: Clupeidae), de la Isla Margarita, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 21, 387-399.
- Gulland, J. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. Manuales en Ciencia Pesquera 4*. Roma, Italia: FAO.
- INCOPECA. (1998). *Prohíbe captura de especímenes juveniles de sardina gallera. Acuerdo 215*. (Publicado en *La Gaceta* N° 172, 3 de septiembre). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- INCOPECA. (2007). *Decreta período de veda en el Golfo de Nicoya. Acuerdo 074*. (Publicado en *La Gaceta* N° 58, 22 de marzo). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- INCOPECA. (2008). *Decreta período de veda para el Golfo de Nicoya correspondiente al año 2008. Acuerdo 137*. (Publicado en *La Gaceta* N° 79, 24 de abril). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- López-Lemus, L. G. (1993). Diferencias termo-adaptativas de enzimas deshidrogenasas NAD-dependientes de peces marinos pelágicos templados y tropicales. *Ciencia Pesquera*, 10, 89-95.
- Mexicano-Cíntora, G., Salas, S. & Cabre-ra, M. A. (1996). Análisis de la pesquería y dinámica poblacional de la vivita de hebra (*Opisthonema oglinum*) en Yucatán, México. *Ciencias Marinas*, 22, 9-22.
- Moser, H. G., Ahlstrom, E. H., Kramer, D. & Stevens, E. G. (1974). Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 17, 112-130.
- Páez-Barrera, F. (1976). *Desarrollo gonadal, madurez, desove y fecundidad de sardina crinuda, Opisthonema libertate (Günther) de la zona de Mazatlán, basados en el análisis histológico de la gónada*. Memoria del Simposium sobre Recursos Masivos de México (28-30 de septiembre de 1976). Ensenada, B.C. México.
- Peterson, C. (1956). Observations on the taxonomy, biology and ecology of the engraulid and clupeid fishes in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Int. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1, 139-280.
- Rodríguez, J., Palacios, J. A. & Chavarría, A. (1986). Fecundidad y época de desove del arenque hebra *Opisthonema libertate* (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Uniciencia*, 3, 87-93.
- Rodríguez, J., Palacios, J. A. & Chavarría, A. (1989). Época de maduración y fecundidad de la sardina gallera *Opisthonema medirastre* y *O. bulleri* (Pisces: Clupeidae) en la costa pacífica central de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 37, 49-54.
- Rodríguez, J., Soto, R. & Palacios, J. A. (1999). *Evaluación del stock explotable de la sardina Opisthonema spp. por la flota cerquera del Pacífico Central*. Informe Científico Técnico no publicado. Universidad Nacional, Costa Rica.

- Ruiz, L. & Lyle, F. (1992). Fluctuaciones periódicas de la captura de sardina crinuda (*Opisthonema spp.*) en el Golfo de California, 1972-1990. *CalCOFI Rep.*, 33, 124-129.
- Soto, R. (1999). *Estimación de la curva de crecimiento y talla de la primera madurez de tres especies del complejo Opisthonema (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Soto, R. & Rodríguez, J. (1999). Dinámica poblacional de *Opisthonema medirastre* (Pisces: Clupeidae) en la costa pacífica de Costa Rica. *Uniciencia*, 15-16, 61-64.
- Sparre, P. & Venema, S. (1995). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. FAO Doc. Téc. Pesca 306/1. Roma, Italia: FAO.
- Stevenson, D. & Carranza, F. (1981). Maximum yield estimates for the pacific thread herring, *Opisthonema spp.*, fishery in Costa Rica. *Fish. Bull.*, 79, 689-703.
- Vega-Cendejas, M., Mexicano-Cíntora, G. & Arce, A. (1997). Biology of the thread herring *Opisthonema oglinum* (Pisces: Clupeidae) from a beach seine fishery of the Campeche Bank, Mexico. *Fish. Res.*, 30, 117-126.
- Viquez, R. (1990). *Algunos aspectos biométricos e índices relativos de crecimiento, de 3 especies del género Opisthonema (Pisces: Clupeidae) de la costa pacífica de Costa Rica*. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Viquez, R., Bolaños, R., Rodríguez, J., Palacios, J. A. & Protti, M. (1992). Utilización de variables morfométricas para explicar el comportamiento del peso fresco y eviscerado en tres especies de peces del género *Opisthonema* (Pisces: Clupeidae). *Uniciencia*, 9, 57-69.
- Viquez, R., Rodríguez, J., Palacios, J. A. & Protti, M. (1990). Diferencias morfométricas por sexo de tres especies del género *Opisthonema* (Pisces: Clupeidae) en la costa del Pacífico, Costa Rica. *Uniciencia*, 7, 27-32.