

Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México

Reproductive biology of the sailfish *Istiophorus platypterus* in the Acapulco Bay, Mexico

Hernández-Aguilar, Sandra Berenice¹ , Abitia-Cárdenas, Leonardo Andrés^{1*}, Moreno-Sánchez, Xchel Gabriel¹, Cruz-Escalona Víctor Hugo¹, Villalejo Fuerte Marcial¹, Arellano Martínez Marcial¹ y Ceballos Vázquez Bertha Patricia¹

Recibido: 22 de octubre de 2020.

Aceptado: 03 de diciembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

RESUMEN

Antecedentes. El pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw, 1792) es una especie ovípara (familia Istiophoridae), objeto de pesca por la flota deportiva de pesca en México. Aún y cuando los aspectos reproductivos de cualquier especie representan información esencial para el diseño de planes de manejo, a la fecha no existe información sobre los principales aspectos reproductivos del pez vela en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México. **Objetivo.** Aportar información sobre la biología reproductiva de las hembras de pez vela *I. platypterus* de la Bahía de Acapulco, México, a partir de un análisis histológico de sus gónadas. **Métodos.** Durante el período 2008-2009, se obtuvo un total de 561 peces. Mediante análisis histológicos se describieron las características reproductivas de los ovarios del pez vela. **Resultados.** El 55.8% de los organismos analizados fueron machos, mientras que el 44.2% fueron hembras, la proporción de sexos (1.26 M:1H) fue significativamente diferente de la proporción 1:1. El análisis histológico de los ovocitos de 155 hembras permitió corroborar que el desarrollo gonádico de *I. platypterus* es sincrónico por grupos, y el pez vela puede ser clasificado como un desovador parcial múltiple. *I. platypterus* se reproduce de julio a diciembre, aunque con mayor intensidad en los meses más cálidos (julio a septiembre), lo cual fue corroborado con los altos valores del IGS. La fecundidad estimada en 14 hembras con presencia de ovocitos hidratados varió entre $0.330-2.092 \times 10^6$ ovocitos, con un promedio de 1.07×10^6 ovocitos. **Conclusiones.** La población de pez vela en la Bahía de Acapulco está compuesta principalmente por machos, con un máximo reproductivo en el caso de las hembras durante los meses cálidos del año, así como una fecundidad relativamente alta.

Palabras clave: Istiophoridae, peces de pico, desovador parcial múltiple, fecundidad, índice gonadosomático.

ABSTRACT

Background. The sailfish *Istiophorus platypterus* is an oviparous billfish species (family Istiophoridae); it is caught by trolling in the sports fishery in Mexico. However, to date, there have been no reproductive biology studies of sailfish in Acapulco Bay, although the reproductive aspects of any species represent essential information for the design of management plans. **Goals.** Provide information on aspects of the reproductive biology of sailfish in waters off Acapulco, Bay. **Methods.** During the period 2008–2009, a total of 561 fish were sampled. Macroscopy analysis and quantitative histology was used to describe reproductive characteristics of the sailfish gonads. **Results.** 55.8% of the analyzed organisms were males, the remaining 44.2% were females, the sex ratio (1.26 M: 1 H) was different from the expected theoretical ratio. The ovaries of 155 females were classified into five ovarian development phases based on histological analysis of the most advanced group of oocytes. Sailfish is a multiple spawn with asynchronous oocyte development. Batch fecundity for 14 females with the presence of hydrated oocytes ranged from 0.330 to 2.092×10^6 oocytes with an average of 1.07×10^6 oocytes. Gonadosomatic index (GSI) indicated that sailfish have a reproductive period with peaks in August and October (mean monthly GSI= 4.3% and 5.4%, respectively). **Conclusions.** Population sailfish in the Bay of Acapulco is composed mainly of males, with a reproductive maximum in the case of females during the warm months of the year, as well as a relatively high fecundity.

Keywords: Istiophoridae, billfish, multiple partial spawners, fecundity, gonadosomatic index.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. La Paz, Baja California Sur, 23096. México

***Corresponding author:**

Leonardo Andrés Abitia-Cárdenas: e-mail: labitia@ipn.mx; Phone: 52 (612) 1225366; Fax number: 52 (612) 1225322

To quote as:

Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona, M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez & B. P. Ceballos-Vázquez. 2020. Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México. *Hidrobiológica* 30 (3): 269-280.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n3/Hernandez

INTRODUCCIÓN

El pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw, 1792) se encuentra ampliamente distribuido en las aguas superficiales tropicales y templadas de todos los océanos del mundo (Nakamura, 1985). En aguas internacionales es capturado principalmente con redes de enmalle de deriva, redes fijas y arpones, también es parte de la captura incidental en las pesquerías comerciales con palangre y redes de cerco (Chiang, 2004; Chiang *et al.*, 2006a; Mourato *et al.*, 2018). En México, su captura está reservada a la pesca deportiva (NOM-017-PESC-1994). Dentro del grupo de los peces de pico (familia Isthiophoridae y Xiphiidae) representa una de las especies con volúmenes de captura más importantes (Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013).

La Bahía de Acapulco, Guerrero, México, es una zona que presenta altos niveles de esfuerzo de pesca para este recurso, ya que tiene un valor económico elevado y es aprovechado para consumo humano, taxidermia y artesanías (Osuna-Flores, 1991; Hernández-Aguilar *et al.*, 2013).

Se han publicado diversos estudios sobre los aspectos reproductivos del pez vela para la región oriental del Océano Pacífico, estas investigaciones han utilizado métodos indirectos como el índice gonadosomático para estimar la temporada reproductiva y la distribución geográfica de ejemplares maduros (Kume & Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974; Miyabe & Bayliff, 1987; Nakano & Bayliff, 1992; Uosaki & Bayliff, 1999). Sin embargo, pocos estudios reportan información sobre la proporción de sexos y fecundidad parcial (Chiang *et al.*, 2006a, 2006b).

En el caso particular del Pacífico mexicano, los estudios de reproducción de *I. platypterus* han sido realizados por Eldridge & Wares (1974) quienes utilizaron el índice gonádico y el número de modas en la distribución del diámetro de los ovocitos intraováricos para definir la madurez sexual y la época de desove de las hembras, específicamente en las costas de Baja California Sur, México y California, Estados Unidos.

Por otro lado, Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998) analizaron la proporción sexual y porcentaje de hembras maduras del pez vela en las costas del Pacífico mexicano. Asimismo, Hernández-Herrera *et al.* (2000), estimaron la fecundidad y frecuencia del desove en organismos capturados en algunas localidades frente a las costas del Pacífico mexicano (Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco y Colima), durante el periodo de 1989-1991. González-Armas *et al.* (2006) describieron aspectos de la reproducción del pez vela en organismos capturados en la boca del Golfo de California entre enero de 1990 y diciembre de 2004, concluyeron que la temporada de reproducción se presenta de julio a noviembre. Finalmente, Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* (2013), describieron algunos rasgos reproductivos del pez vela en el sureste del Pacífico mexicano (costas de Oaxaca) y concluyeron que la especie presenta un desarrollo ovárico asincrónico y la época de desove ocurre durante los meses de julio y septiembre.

Considerando que, en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México no se cuenta con antecedentes de estudios sobre aspectos reproductivos del pez vela (Hernández-Aguilar *et al.*, 2013) y que esta información es esencial para el diseño de planes de manejo de cualquier especie, el objetivo del presente trabajo fue describir el ciclo reproductivo de las hembras del pez vela con énfasis en la temporada de desove, la talla promedio de madurez y la fecundidad parcial, durante los años 2008 y 2009.

MATERIAL Y METODOS

Los ejemplares fueron recolectados de marzo de 2008 a diciembre de 2009 en las áreas de desembarco de la flota deportiva de la Bahía de Acapulco, Guerrero, México (99°52'57" latitud norte, 16°51'59" longitud oeste; Fig. 1). Las medidas biométricas registradas incluyeron: el peso total (PT en g), la longitud posorbital (LP en cm) y el peso de las gónadas (PG en g). Las gónadas fueron preservadas en formaldehído al 10% para su posterior análisis histológico. El sexo de los peces fue identificado a partir de cortes histológicos. Las gónadas de las hembras se procesaron empleando la técnica histológica convencional. El proceso consistió en la deshidratación, inclusión en parafina, cortes de 7µm de grosor en un micrótopo (Leica RM2155) y tinción con hematoxilina-eosina, posteriormente los cortes histológicos fueron montados en portaobjetos para su observación al microscopio (Carl Zeiss, AxioLab A1). Se consideraron cinco etapas de desarrollo gonádico (reposo, desarrollo, madurez, desove y posdesove), considerando la descripción del desarrollo de ovocitos propuesta por Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998).

La proporción de sexos de los organismos fue analizada de forma mensual y total, comparándose con la proporción teórica esperada (1H:1M) a través de una prueba de bondad de ajuste de χ^2 (Sokal & Rohlf, 1979).

El índice gonadosomático (IGS) de las hembras se calculó para evaluar cambios en su actividad reproductiva, considerando que los valores altos representan periodos de madurez y valores bajos denotan inactividad reproductiva. Este índice se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$IGS = \frac{pg}{PT} * 100$$

dónde: IGS= Índice gonadosomático; pg= peso gónada; PT= peso total eviscerado del pez.

La época reproductiva de la especie se estableció considerando las mayores frecuencias de organismos en fase de madurez y los valores más altos del IGS.

La talla media de madurez fue estimada utilizando las frecuencias de hembras maduras y en desove, agrupadas por intervalos de 5 cm de longitud pos orbital. Los datos fueron ajustados a una función de distribución logística mediante la siguiente función (Taylor & Murphy, 1992):

$$FHM = 1 / (1 + e^{(a-b \cdot LP)})$$

Dónde: FHM es la frecuencia de hembras maduras y en desove por intervalo de talla, a y b son coeficientes de la distribución logística; LP es el intervalo de longitud posorbital de las hembras en fase de madurez y desove. Los valores de a y b calculados se utilizaron para obtener la LP_{50} con la siguiente ecuación: $(LP_{50} = \frac{a}{b})$. Las variables de distribución logística se obtuvieron con el programa Statística v.8.

Para estimar la fecundidad se empleó el método gravimétrico, teniendo como base a las hembras con ovocitos hidratados que no presentaron folículos posovulatorios. Con la finalidad de definir el peso mínimo de muestra a utilizar en la estimación de la fecundidad, se tomaron muestras por triplicado (0.06, 0.2, 0.6, 0.8 y 1.0 gramos) de la gónada más grande de las 14 consideradas para el análisis.

Para obtener la fecundidad parcial se utilizó el peso mínimo de muestra (0.8 g), se contó el número de ovocitos hidratados para cada una de las submuestras de las gónadas que estaban en fase de madurez y sin folículos posovulatorios y se extrapolo al peso total de cada una de las gónadas, de acuerdo al método propuesto por Hunter *et al.* (1985).

Una vez estimada la fecundidad parcial, se realizaron análisis de regresión para conocer la relación entre la fecundidad y longitud posorbital, y entre la fecundidad y el peso total del pez. La fecundidad relativa (FR), medida como ovocitos hidratados por gramo de peso corporal fresco, fue determinada como la fecundidad parcial dividida por el peso total fresco de los peces.

La temperatura superficial del mar fue obtenida de imágenes compuestas, adquiridas de los sensores Aqua-MODIS y Terra-MODIS (Scripps Institution of Oceanography). Las imágenes de alta resolución (HRTP) fueron procesadas utilizando el programa Image Manager de Windows© (WIMSoft). Se utilizó una prueba de Spearman (Statistica

v.8) para identificar si existía una correlación entre la temperatura superficial del mar y el índice gonadosomático.

RESULTADOS

En total se obtuvieron 561 individuos del pez vela, de los cuales 313 fueron machos (55.8 %) y 248 hembras (44.2 %). El intervalo de talla y peso fluctuó entre 101 y 212 cm de longitud posorbital y 15 y 47 kg de peso total (Fig. 2a y b). Las hembras presentaron tallas y pesos promedios significativamente mayores que los machos ($F_1 = 668.0676$, $p = 0.000$ y $F_1 = 2738.686$, $p = 0.0000$, respectivamente) en todo el periodo de estudio (Tabla 1).

La proporción de sexos total fue de 1.26 M: 1 H, y fue significativamente diferente de la proporción 1:1 ($\chi^2 = 7.53$, $P < 0.05$). El análisis de la proporción de sexos por mes, indicó diferencias significativas en seis de los 21 muestreos realizados (junio 2008, octubre 2008, diciembre 2008, abril 2009, julio 2009 y octubre 2009); en todos los casos los machos fueron más abundantes (Tabla 2).

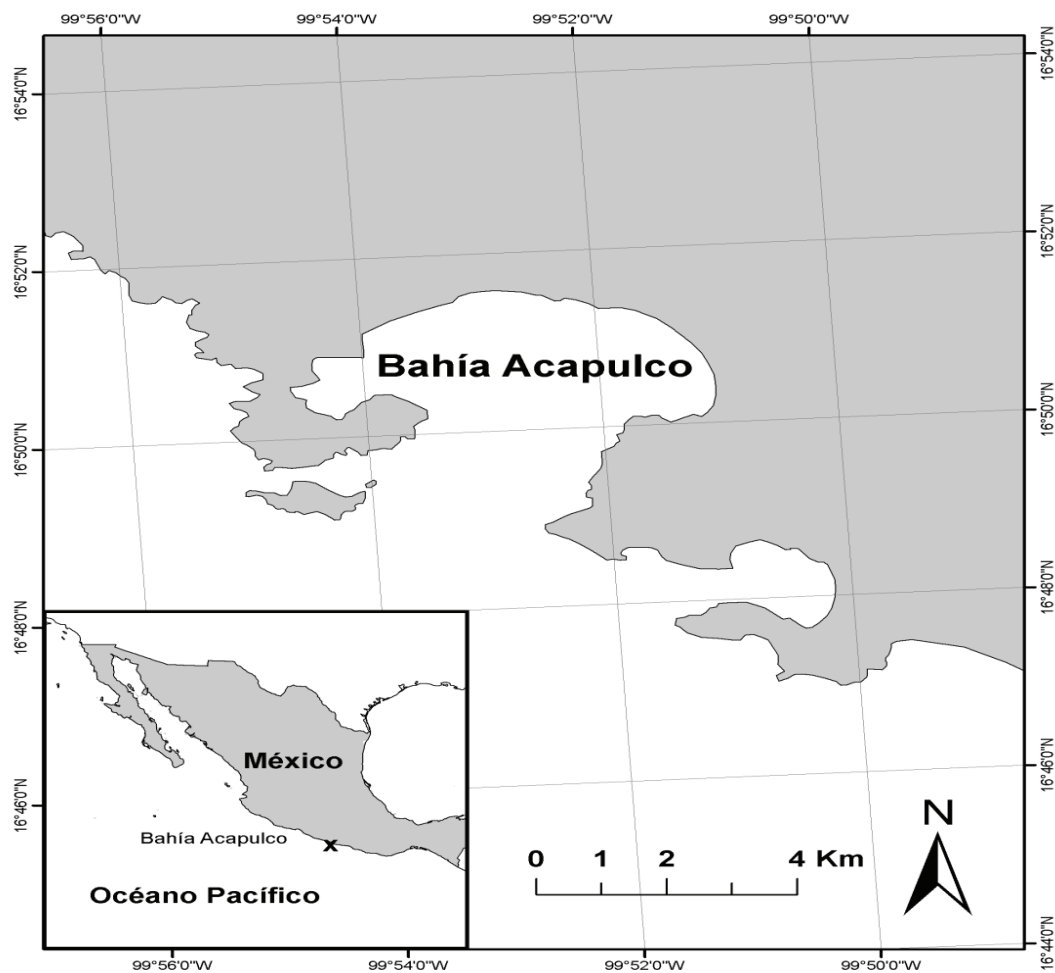


Figura 1. Área de estudio, zona de pesca de *I. platypterus* en Bahía de Acapulco, México

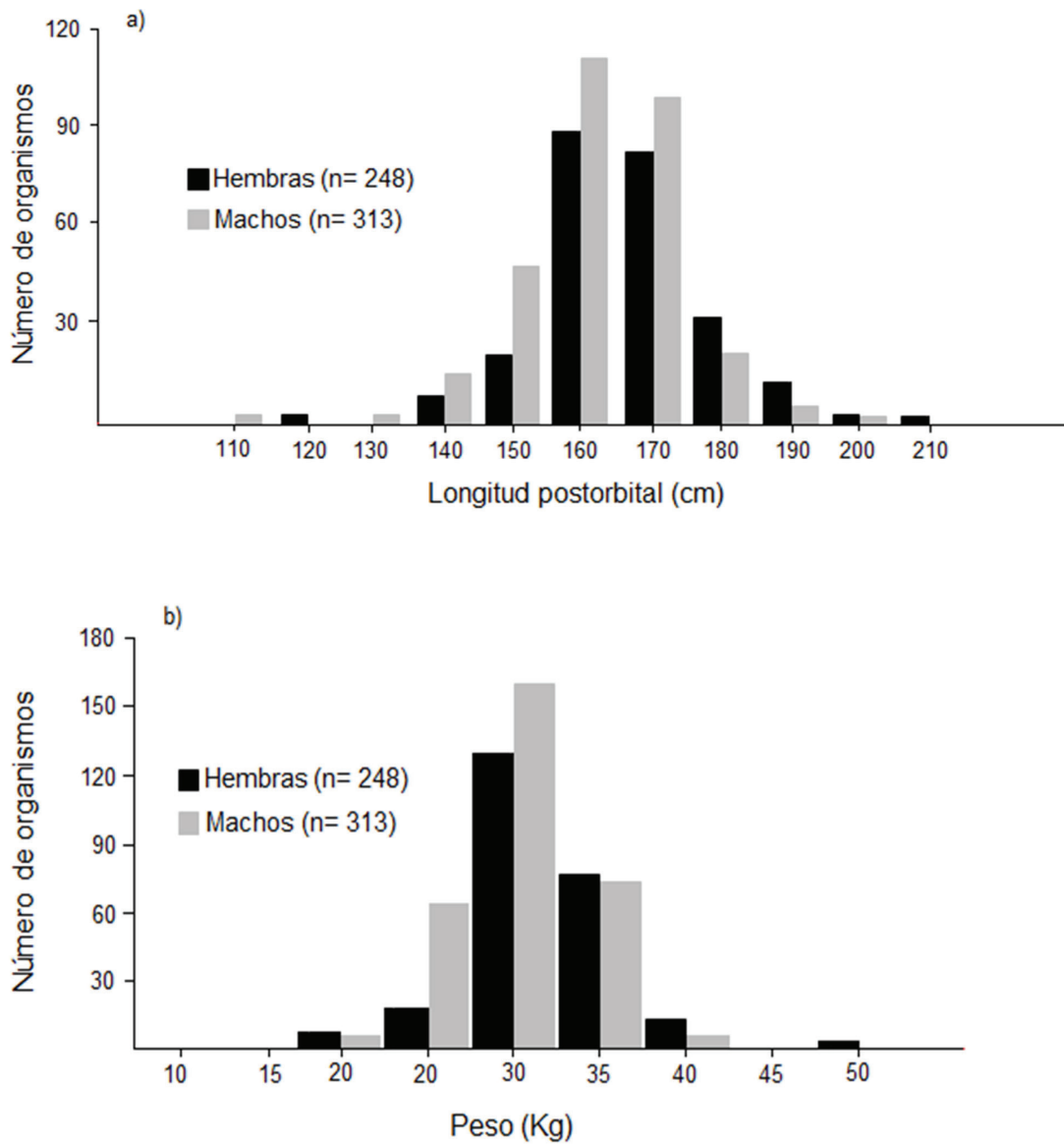


Figura 2. Distribución de frecuencia de clases de tallas y pesos de *I. platypterus*. a) Tallas (cm). b) Peso (kg).

Tabla 1. Análisis de varianza para contrastar las tallas y los pesos de hembras y machos de *I. platypterus*.

Talla	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	553.469	1	553.469	668.076	0.001
Intra-grupos	449.664	559	0.804		
Total	1003.113	560			
Peso	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	1694.998	1	1694.998	2738.686	0.001
Intra-grupos	345.970	559	0.619		
Total	2040.969	560			

Tabla 2. Frecuencia de hembras y machos, valores de χ^2 y proporción de sexos mensual durante el periodo de estudio de *I. platypterus*.

Mes	Hembras	Machos	Total	χ^2	Proporción H/M	p
mar-08	4	5	9	0.11	0.80:1	>0.05
abr-08	9	4	13	1.92	2.25:1	>0.05
may-08	8	8	16	0	1.00:1	>0.05
jun-08	39	21	60	5.4*	1.85:1	<0.05
jul-08	17	10	27	1.81	1.70:1	>0.05
ago-08	16	7	23	3.52	2.28:1	>0.05
sep-08	2	7	9	2.78	0.28:1	>0.05
oct-08	9	26	35	8.26*	0.34:1	<0.05
nov-08	13	20	33	1.48	0.65:1	>0.05
dic-08	21	41	62	6.45*	0.51:1	<0.05
ene-09	11	18	29	1.69	0.61:1	<0.05
mar-09	7	6	13	0.08	1.16:1	>0.05
abr-09	10	21	31	3.90*	0.47:1	<0.05
jul-09	4	15	19	6.36*	0.26:1	<0.05
ago-09	5	10	15	1.67	0.50:1	>0.05
sep-09	6	12	18	2	0.50:1	>0.05
oct-09	5	21	26	9.85*	0.23:1	<0.05
nov-09	26	26	52	0	1.00:1	>0.05
dic-09	36	24	60	2.4	1.5:1	>0.05

Nota: El asterisco indica diferencia significativa de la proporción 1:1 ($p < 0.05$), en negrita los meses con proporción sexual significativamente diferente.

La variación de los valores del IGS y su relación con la temperatura se presenta en la figura 3, el coeficiente de correlación entre ambas variables fue $r_s = 0.338$, $p = 0.183913$. Los valores más bajos del IGS se presentaron de marzo a junio de 2008 (menores a 1%), cuando los valores promedio de la temperatura del agua fluctuaron entre los 27.5

y 29 °C. Durante 2008 los valores más elevados del IGS se presentaron de agosto a octubre (4.3% y 5.4% respectivamente. En el año 2009, los valores más altos del IGS ocurrieron en agosto) (entre 4.3% y 5.4%), en donde se registraron temperaturas promedio entre los 29 y 31.5°C.

Tabla 3. Características histológicas de las fases de desarrollo de los ovarios de *I. platypterus*.

Fase de desarrollo ovárico	Descripción de ovocitos	Fases de ovocitos	Diámetro de los ovocitos
Reposo	Ovogonias y ovocitos en crecimiento primario, incluye cromatina nuclear y ovocitos perinucleares.	Cromatina nuclear	27.44±0.14
		Ovocito perinuclear	42.47±0.1
Desarrollo	Ovocitos en crecimiento primario pero con alveolos corticales, fase temprana de producción de vitelo y citoplasma visiblemente granuloso.	Alveolo cortical	52.15±0.08
		Vitelogénesis primaria	75.15±0.08
Madurez	Ovocitos vitelogénicos presentes, con alto potencial de desove. Están hidratados y con un visible crecimiento con respecto a la fase anterior.	Vitelogénesis avanzada	245.22±0.07
		Núcleo migratorio	157.41±0.17
Desove	Se presentan folículos posovulatorios y en menor proporción ovocitos hidratados, por tanto la fecundidad es indeterminada.	Hidratados	182.41±0.14
Posdesove	Atresias delta presentes, vasos sanguíneos y paredes de los ovocitos considerablemente dilatados, ovogonias y ovocitos en crecimiento primario.		

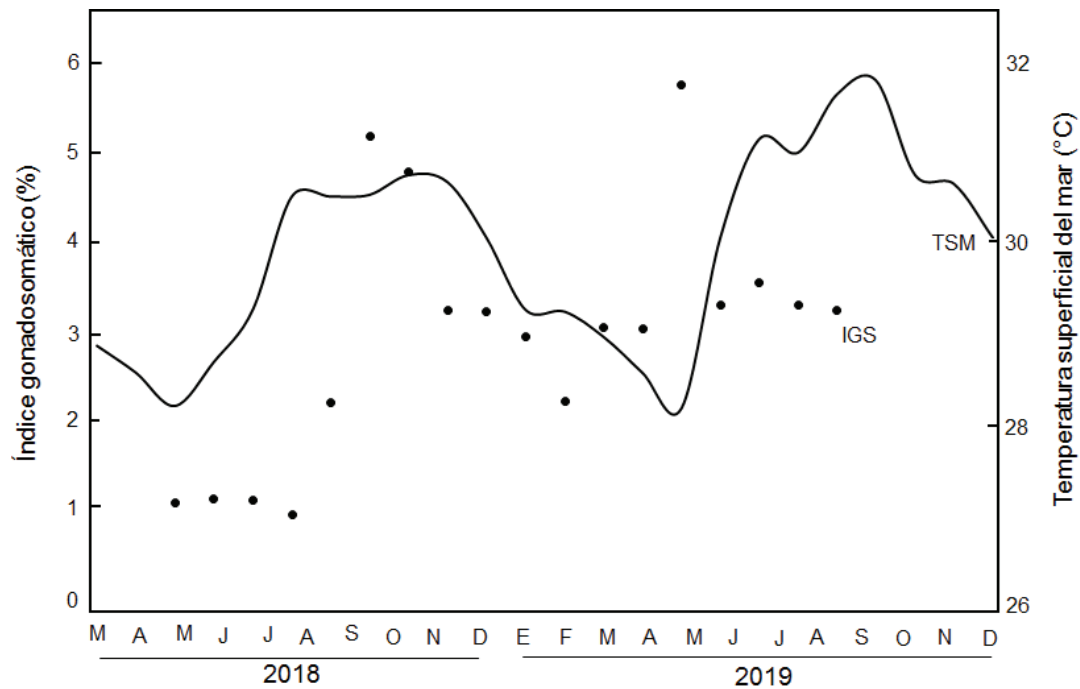


Figura 3. Variación mensual del índice gonadosomático de hembras de *I. platypterus* en la Bahía de Acapulco, México. En algunos meses no fue posible obtener datos biométricos.

En la Tabla 3 se muestra una descripción detallada de las cinco fases de desarrollo identificadas y los promedios de los diámetros de los ovocitos. Asimismo, en la figura 4 se presentan las características histológicas de las cinco fases de desarrollo.

En la figura 5 se presentan los porcentajes de hembras de *I. platypterus* en las diferentes fases de desarrollo gonádico y los registros de temperaturas promedio durante el periodo de estudio. Así durante los dos años de muestreo se observaron hembras en fase de madurez de julio a diciembre; sin embargo, la mayor frecuencia (>60%) se presentó durante los meses más cálidos (agosto, septiembre y octubre), en donde se registraron temperaturas promedio entre 29 y 31.5°C. Los organismos en reposo se presentaron en casi todos los meses, pero con mayor frecuencia durante los meses con menor temperatura (marzo a mayo y octubre diciembre).

La talla de primera madurez ($LP_{50\%}$) para las hembras de pez vela capturados en la Bahía de Acapulco fue a los 164.8 cm de longitud posorbital (Fig. 6). Sin embargo, se encontraron peces que maduraron desde los 133 cm de LP y 19 kg peso húmedo.

Para la estimación de la fecundidad parcial, fueron seleccionados 14 ovarios los cuales presentaron ovocitos con elevado grado de hidratación (todos clasificados dentro de categoría hembras maduras). Las tallas y pesos de dichas hembras fluctuaron entre 139 y 169 cm de longitud postorbital y entre 26 y 36 kg de peso húmedo. La fecundidad parcial estimada osciló entre 0.330 y 2.092×10^6 ovocitos con un promedio de 1.07×10^6 ovocitos por temporada de desove (Tabla 4). No se encontró una relación lineal significativa de la talla y el peso con la fecundidad parcial de los organismos (Fig. 7).

DISCUSIÓN

Durante los años 2008 y 2009 se obtuvieron un total de 561 organismos, con un porcentaje mayor de machos ($n=313$) que de hembras ($n=248$), esta mayor proporción de machos ha sido reportada previamente en otras áreas de distribución del pez vela (Jolley, 1977; Chiang *et al.*, 2004; Chiang *et al.*, 2006a; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). Se argumenta que esta proporción puede beneficiar el evento reproductivo al tener mayor probabilidad de fertilización, debido a que se ha observado que varios machos pueden fecundar a la misma hembra durante un solo evento reproductivo (Beardsley *et al.*, 1975; Hempel, 1979).

Basados en análisis histológicos, algunos estudios han identificado entre cinco (Jolley 1977; Hernandez-Herrera & Ramirez-Rodríguez 1998; González-Armas *et al.* 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* 2013; Mourato *et al.* 2018) y siete fases de desarrollo ovárico en el pez vela (De-Sylva & Breder, 1997; Chiang *et al.*, 2006a). Sin embargo, ninguno de estos trabajos es estrictamente comparable debido a la diversidad de estrategias y diseños de muestreo utilizados para la obtención de los organismos analizados, así como por diferencias en las metodologías empleadas para la estimación de los parámetros reproductivos de la especie. En este contexto la clasificación descrita en el presente estudio es el resultado de un trabajo de revisión de clasificaciones publicadas de la especie y de las características propias de las hembras de la Bahía de Acapulco, México. Con base en lo anterior fue posible diferenciar cinco fases de desarrollo gonádico: 1) reposo, 2) desarrollo, 3) madurez, 4) desove y 5) posdesove).

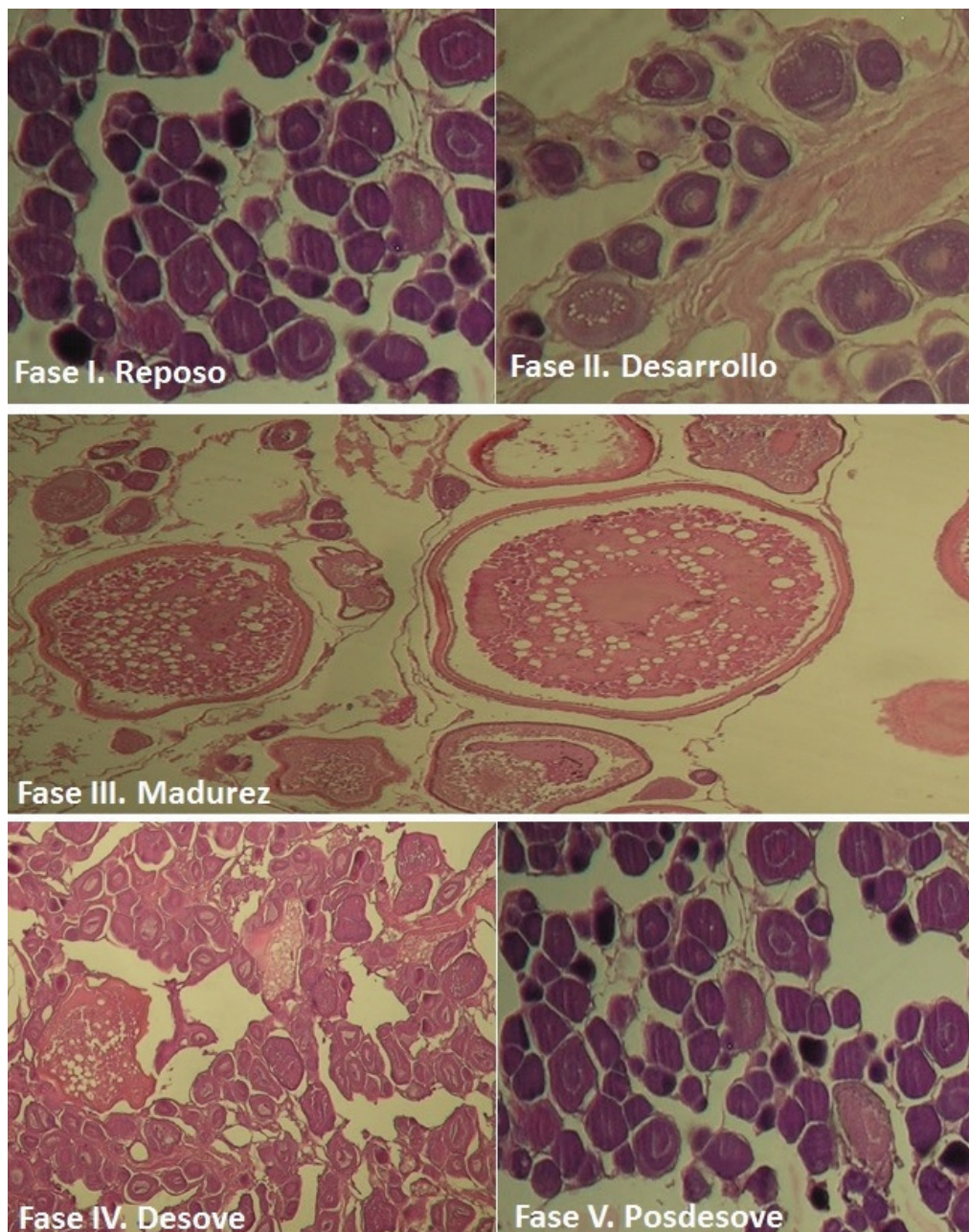


Figura 4. Fotomicrografías del ovario de *I. platypterus* mostrando las diferentes fases del desarrollo de las gónadas.

El análisis histológico permitió identificar ovocitos en diferentes grados de desarrollo en una misma hembra, lo anterior ya ha sido reportado por Jolley (1977), Chiang *et al.* (2006b), González-Armas *et al.* (2006), Cerdanés-Ladrón de Guevara *et al.* (2013) y Mourato *et al.* (2018), lo cual valida de alguna manera la condición de un desarrollo sincrónico por grupos de la especie. Asimismo, se pudo observar que en una misma gónada se presentaron ovocitos en máximo grado de hidratación y folículos posovulatorios, lo cual se constituye como evidencia de un desove reciente y la inminente liberación de ovocitos. Este hecho permite definir al pez vela como un desovador parcial múltiple, ya que en una misma temporada reproductiva puede desovar en varias ocasiones.

En este sentido, Jolley (1977) reportó que el pez vela puede desovar al menos tres veces durante una temporada reproductiva y el desfase entre un desove y otro es de alrededor de dos días (Chiang *et al.*, 2006b). Sin embargo, Hernández-Herrera *et al.* (2000) propusieron que la presencia de ovocitos hidratados y folículos posovulatorios recientes en una misma gónada (condición del presente estudio), es evidencia de un periodo entre desoves, más corto, tal y como se presenta en el barrilete negro *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), donde se ha estimado un periodo de tiempo entre desoves de 12 a 24 horas (Hunter *et al.*, 1986).

Una primera aproximación para describir algunos aspectos reproductivos en teleósteos es el uso de diferentes índices morfofisiológicos, entre ellos el índice gonadosomático (IGS), el cual ha sido utilizado ampliamente en estudios dirigidos a la descripción de los aspectos reproductivos del pez vela, desde los trabajos pioneros hasta los más recientes (*e.g.* Eldridge & Wares, 1974; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). En el presente estudio el IGS permitió confirmar la época reproductiva de las hembras del pez vela, ya que durante el periodo de agosto a octubre se registró un elevado porcentaje de gónadas con IGS altos (IGS= 6.9), mientras que las gónadas en estado de reposo (IGS= 0.33) se presentaron principalmente en los meses menos cálidos.

Diversos autores han considerado que la temporada reproductiva de *I. platypterus* se presenta durante los meses más cálidos del año, los cuales corresponden a las estaciones de verano y otoño en el hemisferio norte, hecho que pudiera estar directamente relacionado con la temperatura superficial del mar (TSM) (Voss, 1953; Merret, 1970; Eldridge & Wares, 1974; Beardsley *et al.*, 1975; Jolley, 1977; Barcelata-Ortiz *et al.*, 1990; Pimenta *et al.*, 1995; De-Sylva & Breder, 1997; Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Chiang *et al.*, 2006b; González-Armas *et al.*, 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013).

Tabla 4. Valores estimados de fecundidad parcial por hembra de *I. platypterus* capturadas en la Bahía de Acapulco, México.

Hembra	Longitud posorbital (cm)	Peso (kg)	Peso ovario (g)	Fecundidad parcial
1	139	26	3,354	1,915,013
2	153	30	985	630,201
3	156	28	2,300	1,518.755
4	156	29	2,530	1,151,614
5	157	28	1,250	593,654
6	157	28	1,250	557,261
7	159	27	1,775	1,002,410
8	160	31	2,315	1,508,317
9	160	26	3,660	2,092,178
10	161	31	777	330,314
11	167	36	3,420	1,441,758
12	167	35	976	364,191
13	167	28	982	394,530
14	169	36	1,850	1,528,494

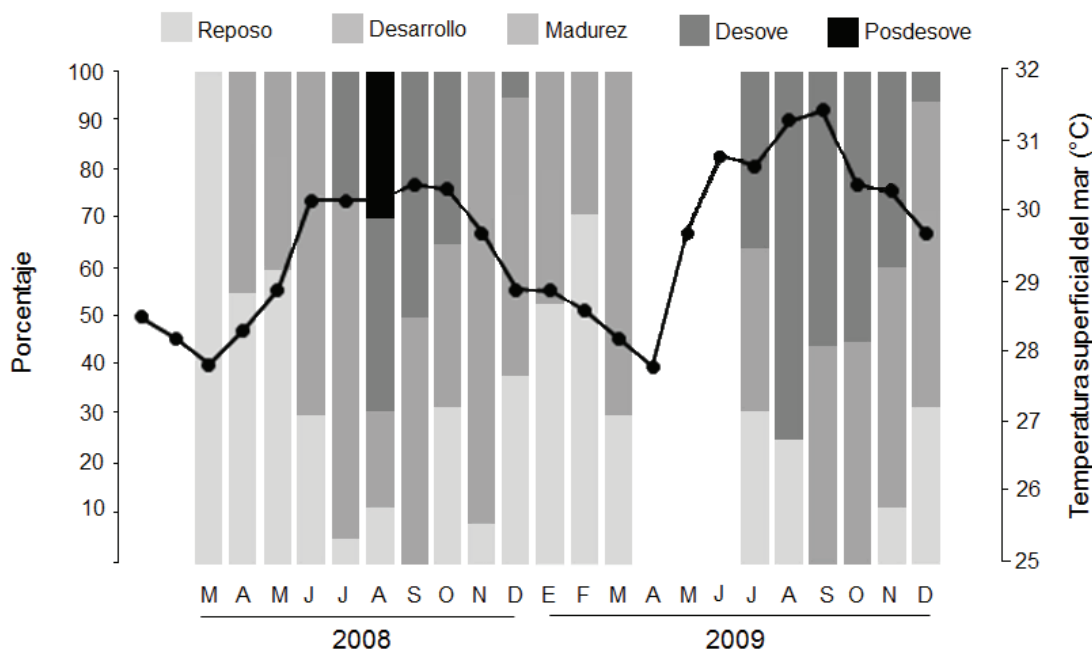


Figura 5. Porcentaje de hembras de *I. platypterus* en las diferentes fases de desarrollo gonádico y registros de temperaturas promedio durante el periodo de muestreo (2008 y 2009).

Tabla 5. Época reproductiva, talla promedio de madurez y fecundidad de *I. platypterus* en diferentes sitios de su distribución. En el caso de lo reportado por Jolley (1977) y González-Armas *et al.* 2006, los datos se refieren a la talla de inicio de madurez.

Estudio	Área	Época reproductiva	Talla promedio de madurez (cm)	Fecundidad (millones)
Jolley (1977)	Sureste de Florida	Verano y otoño	120	4.8
Hernández-Herrera y Ramírez-Rodríguez (1998)	Pacífico mexicano	Verano y otoño	175	N/D
González-Armas <i>et al.</i> , (2006)	Sur del Golfo de California	Julio y septiembre	146	N/D
Chiang <i>et al.</i> (2006a)	Este de Taiwan	Abril a septiembre	166	N/D
Cerdenares-Ladrón de Guevara <i>et al.</i> (2013)	Golfo de Tehuantepec, México	Septiembre y octubre	150.2	N/D
Mourato <i>et al.</i> (2018)	Brasil	Abril a octubre (pico en verano)	146.2	0.436-2.4
*Presente estudio	Bahía de Acapulco, México	Verano y otoño	162	1.07 (promedio)

Nota: N/D (Fecundidad no determinada)

En la literatura se ha propuesto que la TSM es uno de los principales factores que promueven la ovogénesis y vitelogénesis (*e.g.* Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Chiang *et al.*, 2006b, Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). La presencia de hembras maduras se detectó durante la temporada cálida (agosto, septiembre y octubre), cuando los valores de temperatura variaron entre los 29 y los 31.5°C, valores que son ligeramente superiores a los reportados por Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998) de 27 a 30°C frente a las costas del Pacífico de mexicano (Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco y Colima).

Lo anterior demuestra la necesidad de realizar una mayor cantidad de estudios enfocados a comprender de mejor forma la estructura vertical y las características físicas de las masas de agua, lo cual pudiera a su vez ayudar a explicar el por qué el pez vela se reproduce en esta área durante un periodo determinado del año (Jalabert, 2005; Chiang *et al.*, 2006a).

La talla promedio de madurez o talla media, se define como la talla a la cual el 50% de los individuos están maduros. Esta talla puede variar dentro de una misma especie y puede variar espacial o temporalmente (Sparre & Venema, 1995). Ejemplo de esto son los diferentes estudios enfocados en el pez vela donde se determinan tallas de primera madurez muy variables entre sí (Tabla 5); como el realizado por Eldridge & Wares (1974) quienes reportan un intervalo de 160 a 165 cm de longitud furcal, por otro lado, Jolley (1977) menciona que el pez vela madura al llegar a los 120 cm; Nakano & Bayliff (1992) indicaron que la hembra madura más pequeña se encontró dentro de la clase de talla de 121 a 130 cm de longitud ojo-furca y Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* (2013) documentaron una talla de 150.2 cm de longitud posorbital en las costas de Oaxaca, México.

La talla promedio de madurez (LP_{50%}) estimada en el presente estudio fue de 164.8 cm de longitud posorbital, la cual en términos generales está por encima de los valores reportados por otros au-

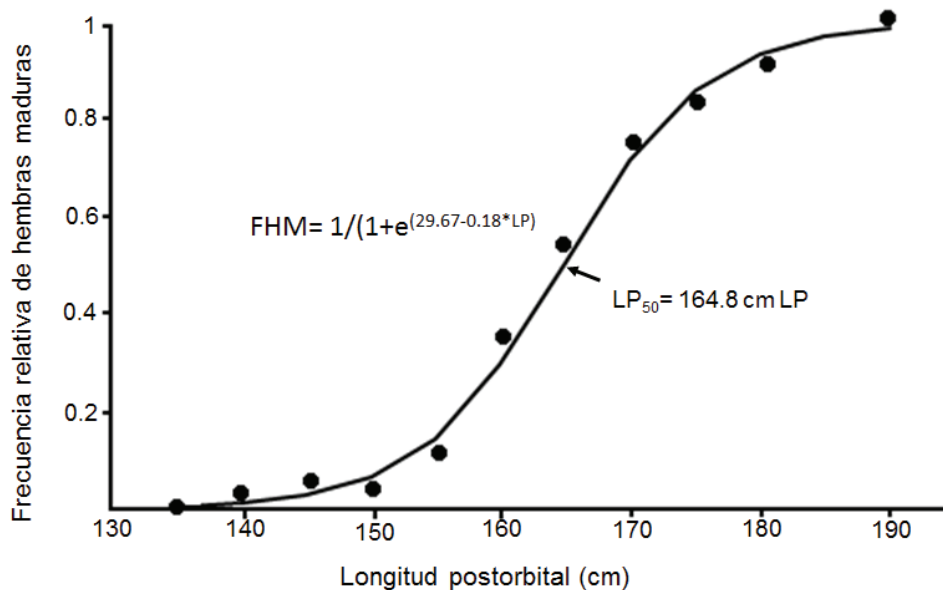


Figura 6. Talla promedio de madurez (LP_{50%}) de hembras de *I. platypterus* capturados en la Bahía de Acapulco, México.

tores (Eldridge & Wares, 1974; Jolley, 1977; Nakano & Bayliff, 1992; Cerdanarés-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). Un factor importante a considerar para explicar estas diferencias es el origen de las muestras en cada uno de los diferentes estudios. Por ejemplo, en el estudio de Cerdanarés-Ladrón de Guevara *et al.* (2013), la mayoría de los peces provienen de la pesca artesanal, mientras que en la presente investigación las muestras tienen origen en la pesca deportiva, la cual tiene por objetivo conseguir ejemplares de tallas grandes, situación que pudiera influir en la estimación de la talla promedio de madurez; esto es,

en el presente estudio las tallas de los ejemplares analizados son las más grandes de todos los estudios realizados. También es importante tomar en consideración lo señalado por Saborido & Junquera (2000), quienes mencionaron que los cambios en las tallas de maduración, pueden estar relacionados a diversos factores como son las variaciones en los parámetros de crecimiento por individuos y por cohorte, aunado al comportamiento de los factores ambientales y a la disponibilidad del alimento.

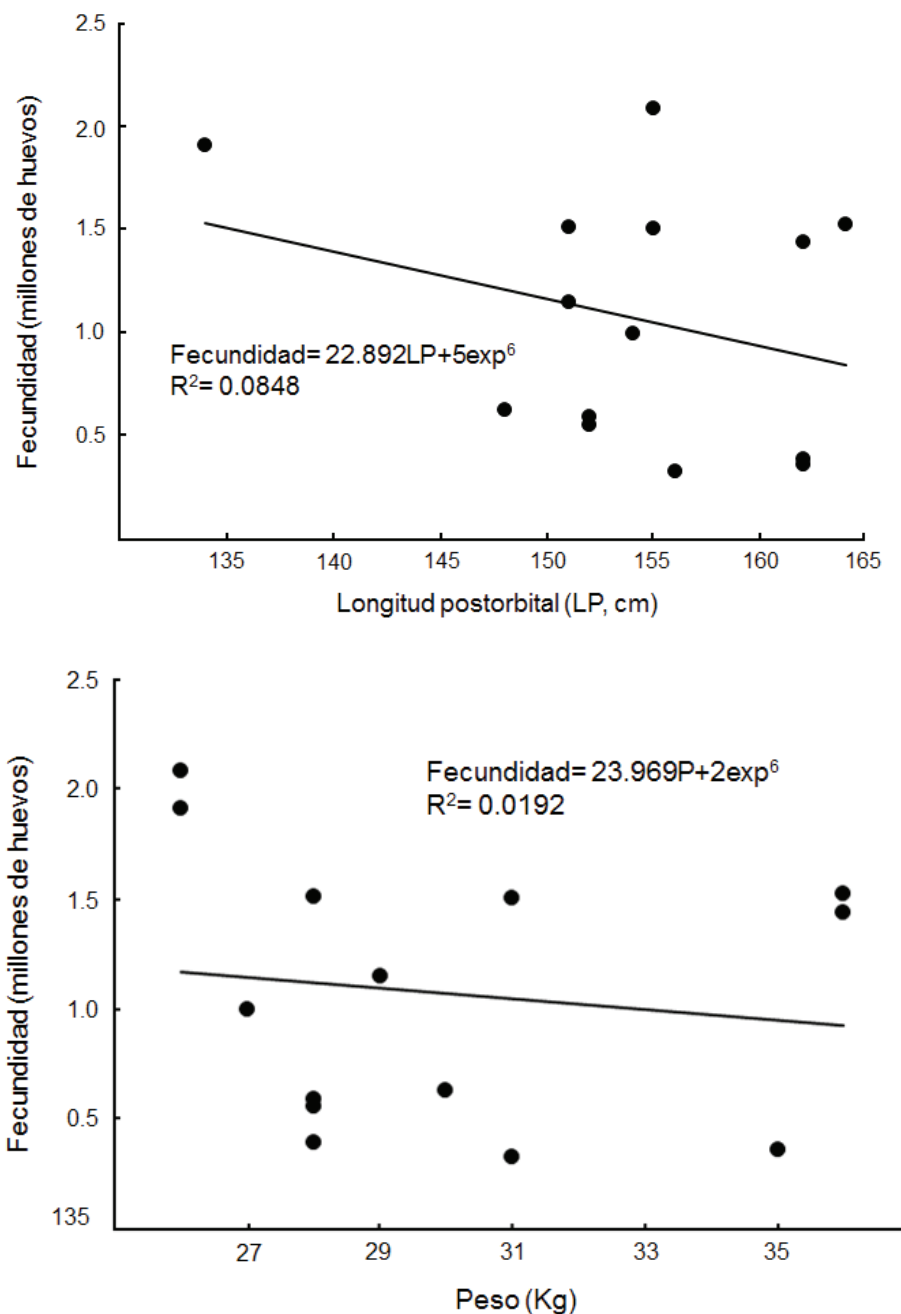


Figure 7. Relación entre la fecundidad parcial de *I. platypterus* y la longitud posorbital y el peso total.

Por otro lado, se contempla de forma particular el aspecto de los cambios latitudinales, por ejemplo, información derivada del proyecto “Biología y dinámica poblacional del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw & Nodder, 1792) en el Pacífico mexicano (SEP/CONACYT 60376)”, evidenció un gradiente latitudinal en el factor de condición corporal del pez vela, dicho patrón resume que los peces de mayor tamaño son capturados en las costas más sureñas del Pacífico mexicano (Anónimo, 2012).

La fecundidad estimada para el pez vela ha sido muy variable entre los diversos estudios; las cuales van de entre 0.436 y 19.500 x 10⁶ ovocitos por desove (Ovchinnikov, 1970; Eldridge & Wares, 1974; Jolley, 1974; Beardsley *et al.*, 1975; Jolley, 1977; Hernández-Herrera *et al.*, 2000; Chiang *et al.*, 2006a; Mourato *et al.*, 2018). Esta variación puede estar relacionada a la metodología utilizada en cada estudio, o al grupo de talla-edad utilizada, o incluso a las variaciones microambientales de cada sitio de estudio. Diversos estudios han mostrado que la fecundidad está estrechamente relacionada con la edad o el tamaño de los individuos analizados, lo cual ha sido reportado también para el pez vela *I. platypterus* (Chiang *et al.*, 2006a). Sin embargo, en este estudio se encontró que la fecundidad del pez vela no tuvo una relación significativa con la talla, lo cual ya ha sido reportado para esta especie en varias localidades del Pacífico mexicano (Hernández-Herrera *et al.* (2000), que incluyen las costas de Puerto Vallarta y Manzanillo, dos sitios relativamente cercanos al del presente estudio. Una explicación a esta falta de relación de la fecundidad con la talla, tal vez se deba a que no se analizaron las tallas más grandes reportadas para esta especie (Hernández-Herrera *et al.*, 2000). Los resultados del presente trabajo al igual que a los reportados por Hernández-Herrera *et al.* (2000) coincidieron en el hecho de que no hay significancia estadística en la aparente relación entre las mayores tallas con los valores más altos de fecundidad.

En conclusión, se puede establecer que la población del pez vela que se desembarca en la localidad de Acapulco, México, está compuesta de machos (55.8%) y hembras (44.2%), en donde el desarrollo gonádico por grupos puede ser descrito en cinco fases de desarrollo ovárico, con un máximo reproductivo durante los meses cálidos del año y una fecundidad relativamente alta.

AGRADECIMIENTOS

Todos los autores agradecen el financiamiento económico para la realización de la presente investigación recibido a través de los proyectos IPN-SIP 20091357 y 2010723 y SEP-CONACYT/60376. SBHA agradece al Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, por las becas recibidas para realizar sus estudios de posgrado. LAAC, XGMS, VHCE, MTFV, MAM y BPCV, agradecen los apoyos recibidos a través de los Programas Institucionales del IPN: Estímulo al Desempeño de los Investigadores (EDI) y Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA).

LITERATURA CITADA

- ARIZMENDI-RODRÍGUEZ, D., L. A. ABITIA-CÁRDENAS, F. GALVÁN-MAGAÑA & I. TREJO-ESCAMILLA. 2006. Food habits of sailfish *Istiophorus platypterus* of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 79 (3): 777-791.
- BARCELATA-ORTIZ, M., DE LA O-GIRÓN J. & L. GONZÁLEZ-MARQUEZ. 1990. Aspectos reproductivos de las especies: pez vela *Istiophorus platypterus* y dorado *Coryphaena hippurus* capturados en costas de Mazatlán Sinaloa en 1988. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México. 85 p.
- BEARDSLEY, G., N.R. MERRET & W. RICHARDS. 1975. Synopsis of the biology of the sailfish *Istiophorus platypterus*. (Shaw & Nodder, 1971). In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Parte 3. Species synopses*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675, Washington DC, pp. 95-120.
- CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA, G., E. MORALES-BOJÓRQUEZ, C. RODRÍGUEZ-JARAMILLO, A. HERNÁNDEZ-HERRERA & L. A. ABITIA-CÁRDENAS. 2013. Seasonal reproduction of sailfish *Istiophorus platypterus* from the southeast Mexican Pacific. *Marine Biology* 9 (4): 407-420. DOI:10.1080/17451000.2012.742545
- CHIANG, W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH & W. C. SU. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fishery Bulletin* (102): 251-263.
- CHIANG, W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH, W. C. SU, D. C. LIU & W. Y. CHEN. 2006a. Sex ratios, size at sexual maturity, and spawning seasonality of sailfish *Istiophorus platypterus* from Eastern Taiwan. *Bulletin of Marine Science* (79): 727-737.
- CHIANG W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH, W. C. SU & D. C. LIU. 2006b. Spawning frequency and batch fecundity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Zoological Studies* (45): 483-490.
- DE-SYLVA, D. P. & P. R. BREDER. 1997. Reproduction, gonad histology, and spawning cycles of north Atlantic billfishes (Istiophoridae). *Bulletin of Marine Science* (60): 668-697.
- ELDRIDGE, M. B. & P. G. WARES. 1974. Some biological observations of billfish taken in the eastern Pacific Ocean 1967-1970. In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Part 2*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675, Washington DC, pp. 89-101.
- GONZÁLEZ-ARMAS, R., A. KLETT-TRAUlsen & A. HERNÁNDEZ-HERRERA. 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* (79): 705-717.
- HEMPEL, G. 1979. *Early life history of marine fish: the egg stage*. University of Washington Press, Seattle. 70 p.
- HERNÁNDEZ-AGUILAR, S. B., L. A. ABITIA-CÁRDENAS, X. G. MORENO-SÁNCHEZ, M. ARELLANO-MARTÍNEZ & E. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ. 2013. Trophic spectrum of the sailfish *Istiophorus platypterus* caught off the Acapulco in the southern Mexican Pacific. *Journal of Marine Biological Association United Kingdom* 93 (4): 1097-1104. DOI:10.1017/S0025315412001622
- HERNÁNDEZ-HERRERA, A. & M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ. 1998. Spawning seasonality and length maturity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) off the Pacific coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science* (63): 459-467.
- HERNÁNDEZ-HERRERA, A., M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ & A. MUHLIA-MELO. 2000. Batch fecundity and spawning frequency of sailfish *Istiophorus platypterus* off the Pacific coast of Mexico. *Pacific Science* (54): 189-194.

- HUNTER, J. R., N. LO & R. LEONG. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: Lasker, R. (ed.). *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy*. NOAA Technical Report 36, pp. 67-77.
- HUNTER, J. R., B. J. MACEWICZ & J. R. SIBERT. 1986. The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. *Fishery Bulletin* (84): 895-903.
- JALABERT, B. 2005. Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. *Reproduction, Nutrition and Development* (45): 261-279. DOI:10.1051/rnd:2005019
- JOLLEY, JR. J. W. 1974. On the biology of Florida east coast Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus*). In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Part 2*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SS-RF-675, Washington DC, pp. 81-88.
- JOLLEY, JR. J. W. 1977. The biology and fishery of Atlantic sailfish *Istiophorus platypterus* from southeast Florida. St. Petersburg, FL. *Florida Marine Research Publications* (28): 1-31.
- KUME, S. & J. JOSEPH. 1969. The Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the Eastern Pacific Ocean, East of 130°W, 1964-1966. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 13 (2): 277-418.
- MERRET, N. R. 1970. Gonad development in billfish (Istiophoridae) from Indianocean. *Journal of Zoology* 160 (3): 355-370. DOI:10.1111/j.1469-7998.1970.tb03086.x
- MİYABE, N. & W. H. BAYLIFF. 1987. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1971-1980. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 19 (1): 1-163.
- MOURATO, B. L., M. NARVAEZ, A. F. DE AMORIM, H. HAZIN, F. CARVALHO, F. HAZIN & F. AROCHA. 2018. Reproductive biology and space-time modelling of spawning for sailfish *Istiophorus platypterus* in the Eastern Atlantic Ocean. *Marine Biology Research* 14 (3): 269-286. DOI:10.1080/17451000.2017.1407873
- NAKAMURA, I. 1985. *FAO, Species catalogue Vol. 5 Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfish, spearfish and swordfish know to date*. FAO Fish Synopsis. Rome. 65 p.
- NAKANO, N. & W. H. BAYLIFF. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-1987. *Inter-American Tropical Tuna Commission* (20): 187-355.
- Norma Oficial Mexicana NOM-017-PESC-1994. Para regular las actividades de pesca deportiva recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Agosto 23: 1-4.
- OSUNA-FLORES, I. 1991. Análisis de la pesquería del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) en el océano Pacífico oriental con énfasis en la zona económica exclusiva de México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). B.C.S, México. 100 p.
- OVCHINNIKOV, V. 1970. *Swordfishes and billfishes in the Atlantic Ocean: ecology and functional morphology*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 77 p.
- SHINGU, C., P. K. TOMLINSO & C. L. PETERSON. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. *Inter-American Tropical Tuna Commission* (16): 65-230.
- SOKAL, R. R. & F. J. ROHLF. 1979. *Biometry*. H. Blume Editors. Barcelona. 832 p.
- PIMENTA, E., G. LIMA, C. CORDEIRO, M. TARDELLI & A. AMORIM. 2005. Reproduction and stomach content analysis of sailfish, *Istiophorus platypterus* off Rio de Janeiro State, R. J. Brazil. *ICCAT: Collective Volume of Scientific Papers* 58 (5): 1589-1596.
- SABORIDO, F. & S. JUNQUERA. 2000. *Ecología de la Reproducción y Potencial Reproductivo en las Poblaciones de Peces Marinos*. Universidad de Vigo. 72 p.
- SPARRE, P. & S. C. VENEMA. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Parte I. FAO Documentos Técnicos de Pesca, Roma. 420 p.
- TAYLOR, R. & M. MURPHY. 1992. Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the Straits of Florida and adjacent waters. *Fishery Bulletin* (90): 809-816.
- UOSAKI, K. & W. H. BAYLIFF. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 21 (6): 273-488.
- VOSS, G. L. 1953. A contribution to the life history and biology of the sailfish, *Istiophorus americanus* Cuv. and Val., in Florida Waters. *Bulletin of Marine Science* (3): 206-240.