



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**BIOLOGÍA DEL PEZ VELA *Istiophorus*
platypterus (Shaw y Nodder, 1792) EN EL
GOLFO DE TEHUANTEPEC**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR
EN
CIENCIAS MARINAS**

PRESENTA

GENOVEVA CERDENARES LADRÓN DE GUEVARA

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 19:00 horas del día 13 del mes de Mayo del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“BIOLOGÍA DEL PEZ VELA *Istiophorus platypterus*

(Shaw y Nodder, 1792) EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC”

Presentada por el alumno:

CERDENARES

Apellido paterno

LADRÓN DE GUEVARA

materno

GENOVEVA

nombre(s)

Con registro:

B	0	7	1	2	1	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ

Director de Tesis

DR. RUBÉN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Director de Tesis

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

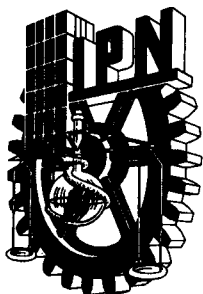
DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 16 del mes Mayo del año 2011
el (la) que suscribe MC. GENOVEVA CERDENARES LADRÓN DE GUEVARA alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro B071215 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ y DR. RUBÉN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"BIOLOGÍA DEL PEZ VELA *Istiophorus platypterus*

(Shaw y Nodder, 1792) EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: gcerdenares@gmail.com - emorales@cibnor.mx - rrodrig@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MC. GENOVEVA CERDENARES LADRÓN DE GUEVARA

nombre y firma

DEDICATORIA

A mi mamá, mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos, por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de doctorado.

AL CICIMAR-IPN por brindarme la oportunidad de estudiar mi posgrado en esta institución.

A mis amigos, Gabriela Gonzáles Medina, Samuel Ramos Carrillo, Carmen Alejo Plata, por el trabajo conjunto para la obtención de muestras y recopilación de la información utilizada en el presente trabajo.

Al Dr. Enrique Morales Bojórquez, por su apoyo y aceptar la misión imposible de mi formación como investigadora.

A mi comité de tesis: Dra. Sofía Ortega García, Dr. Rubén Rodríguez Sánchez, Dr. Agustín Hernández-Herrera, Dr. Francisco Arreguín Sánchez, por su apoyo.

Al Dr. Andrés Abitia Cárdenas por el apoyo económico para el procesamiento histológico como parte del proyecto de investigación SEP-CONACYT 60376.

A la M en C. Carmen Rodríguez Jaramillo responsable del Laboratorio de Histología del CIBNOR, por su amistad y su apoyo en el análisis histológico. De igual manera a la Téc. Eulalia Meza Chávez por el procesamiento histológico.

Al Dr. Roberto Félix Úraga y al M. en C. Felipe Neri Melo Barrera por su asesoría en el capítulo de edad y crecimiento.

A mis amigas Dana, Marcela y Gaviota, por hacer tan divertida mi estancia en La Paz.

A mis amigos del posgrado Rebeca, Luis, Saúl, Itzel, Mónica, Xchel, Yasir, con quienes compartí momentos muy agradables y aún más divertidos.

A todos mis compañeros (profesores y alumnos) del Laboratorio de Biología Pesquera de la Universidad del Mar, ya que sin su apoyo este trabajo definitivamente no hubiese sido posible.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	viii
GLOSARIO.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
a) ANTECEDENTES.....	6
i) Evaluación del recurso del Atlántico.....	6
ii) Evaluación del recurso del Indo-Pacífico.....	7
iii) Parámetros de la historia de vida de <i>Istiophorus platypterus</i>	8
1. Crecimiento.....	9
2. Reproducción.....	11
iv) Oceanografía pesquera.....	12
v) Actividad pesquera en Puerto Ángel.....	14
II. OBJETIVOS.....	17
III. ÁREA DE ESTUDIO.....	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
a) Origen de la información.....	21
b) Índice de abundancia relativa.....	23
c) Estructura de tallas.....	25
d) Relación talla vs peso.....	26
e) Evaluación reproductiva.....	27
i) Análisis Histológico.....	27
ii) Distribución de diámetros de los ovocitos.....	28
iii) Proporción de sexos e índice gonadosomático.....	30
iv) Longitud de primera madurez.....	31
f) Edad y Crecimiento.....	33
i) Periodicidad de los incrementos.....	35
ii) Retro-cálculo de longitudes a edades tempranas.....	36
iii) Función de crecimiento.....	37
1 Elección del modelo candidato.....	40

g) Evaluación del recurso basado en la captura a la talla.....	41
i) Estimación de la captura a la talla.....	42
V. RESULTADOS.....	48
a) Índice de abundancia relativa.....	48
b) Estructura de tallas.....	49
c) Relación talla peso.....	52
d) Evaluación reproductiva.....	53
i) Análisis histológico.....	53
ii) Distribución de diámetros de los ovocitos.....	57
iii) Proporción de sexos e índice gonadosomático.....	61
iv) Longitud de primera madurez.....	64
e) Edad y Crecimiento.....	67
i) Periodicidad de los incrementos.....	69
ii) Retro-cálculo de longitudes a edades tempranas.....	70
iii) Función de crecimiento.....	71
1. Elección del modelo candidato.....	72
f) Evaluación del recurso basado en la captura a la talla.....	75
i) Estimación de la captura a la talla.....	75
VI. DISCUSIÓN.....	82
VII. CONCLUSIONES.....	111
VIII. RECOMENDACIONES.....	113
IX. LITERATURA CITADA.....	114
X. ANEXOS.....	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estados de la república frente a los que se localizan los principales sitios de pesca deportiva para <i>Istiophorus platypterus</i> ; Colima (Col) y Sinaloa (Sin). En gris claro se muestran los estados costeros donde comúnmente <i>I. platypterus</i> se encuentra distribuido; Baja California Sur (BCS), Nayarit (Nay), Jalisco (Jal), Michoacán (Mich), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), y Chiapas (Chis).....	2
Figura 2.	Esquema del palangre modificado utilizado en la pesca de <i>Istiophorus platypterus</i> por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec. Tomado de Ramos-Carrillo <i>et al.</i> , 2007.....	15
Figura 3.	Área de estudio. Golfo de Tehuantepec, indicando las localidades en donde se captura incidentalmente a <i>Istiophorus platypterus</i>	18
Figura 4.	<i>Istiophorus platypterus</i> . Se indica la medida corporal registrada. Longitud ojo-furca (LOF), medida de la parte posterior del ojo a la furca de la aleta caudal.....	20
Figura 5.	Esquema de la cuarta espina de <i>Istiophorus platypterus</i> . Distancia entre apófisis superiores (d), ubicación del corte a una distancia de un medio de d	32
Figura 6.	Sección transversal de la cuarta espina de <i>Istiophorus platypterus</i> . Se muestran las bandas translucidas (flechas) y bandas opacas.....	33
Figura 7.	Serie de tiempo de la CPUE de <i>Istiophorus platypterus</i> capturado por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec. Periodo del año 2005 al 2008. Se indica promedio ($\bullet$), error estándar (barras horizontales) y el valor de n arriba de cada barra.....	47
Figura 8.	Distribución de frecuencia de la longitud ojo-furca; $n = 4976$ (a) y distribución de frecuencia del peso; $n = 4985$ (b) de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México.....	49
Figura 9.	Estructura de tallas por año de <i>Istiophorus platypterus</i> capturado por las flotas artesanal y deportiva en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 2000 al 2008.....	50

Figura 10.	Talla promedio anual de <i>Istiophorus platypterus</i> , capturado por las flotas artesanal y deportiva en el Golfo de Tehuantepec para el periodo del 2000 al 2008. Se indica promedio (•), error estándar (barras horizontales) y el valor de <i>n</i> arriba de cada barra. Los recuadros indican periodos sin diferencias significativas (ANOVA, <i>P</i> > 0.05).....	51
Figura 11.	Relación peso total y longitud ojo-furca de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México. $PT = 5 \times 10^{-5} \times LOF^{2.6}$ ($r^2 = 0.7$, $n = 743$).....	
Figura 12.	Proporción mensual de hembras por estadio de madurez evaluadas histológicamente, para los años 2005 y 2008 en conjunto.....	53
Figura 13.	Microfotografías de secciones de ovario mostrando los diferentes estadios de desarrollo de gónadas de hembras de <i>Istiophorus platypterus</i> del Golfo de Tehuantepec. II. Crecimiento primario (previtelogénesis), III. Crecimiento secundario (vitelogénesis exógena), IV. Crecimiento terciario (maduración), V. Desove (hidratación y ovulación), VI. Postdesove. Ovocito núcleo cromatina (CN), ovocito perinucleolar temprano (EP), ovocito perinucleolar tardío (LP), ovocito alveolo cortical (CA), inclusión lipídica (LI), ovocito vitelogénesis tardía (LV), ovocito vitelogénesis temprana (EV), ovocito atresico (AO); ovocito hidratado y ovulación (H), núcleo (n), nucleolo (nc); alveolo cortical (ca), células foliculares (fc), zona radiata (zr), gránulos de lípidos (ly), gota de aceite (od), gránulos de vitelo (pyg), fluido proteico del vitelo (fpy), folículo postovulatorio (pof), atresia en ovocito con vitelo (ayo), células de la theca (th). Las abreviaciones corresponden a la nomenclatura estándar.....	55
Figura 14.	Variación del diámetro del ovocito de <i>Istiophorus platypterus</i> utilizando mediciones del grupo de ovocitos más avanzado (GOMA). Nucléolo cromatina (Cn) (<i>n</i> = 1003), Previtelogénico temprano (Ep) (<i>n</i> = 1091), Previtelogénico tardío (Lp) (<i>n</i> = 1179), Alveolo cortical (Ca) (<i>n</i> = 947), Inclusión lipídica (Li) (<i>n</i> =301), Vitelogénesis temprana (Ev) (<i>n</i> = 86), Vitelogénesis tardía (Lv) (<i>n</i> = 46), Hidratación (Hy) (<i>n</i> = 36). Se muestra el diámetro mínimo y máximo (—) por tipo de ovocito.....	58

Figura 15.	Análisis de la distribución de frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) por estadio de madurez de <i>Istiophorus platypterus</i> . Tamaño de muestra, a) $n = 512$, b) $n = 3230$, c) $n = 918$, d) $n = 547$, e) $n = 190$. La línea continua representa el modelo multinomial ajustado a los datos.....	59
Figura 16.	Composición de tallas de machos (línea punteada) y hembras (línea continua) de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec para los años 2005 y 2008 conjuntamente. a) Segundo trimestre, b) tercer trimestre y c) cuarto trimestre.....	61
Figura 17.	Proporción de hembras de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente, estimada utilizando regresión local ponderada. La línea continua indica el modelo ajustado a los datos con un $\lambda = 7$ y la línea punteada muestra la proporción 1:1 de hembras y machos. a) Segundo trimestre ($r^2 = 0.42$), b) tercer trimestre ($r^2 = 0.83$), y c) cuarto trimestre ($r^2 = 0.46$).....	62
Figura 18.	Índice gonadosomático (IGS) estimado para <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente. Las barras horizontales indican máximo y mínimo. Se indica n sobre las barras.....	63
Figura 19.	Modelo ajustado de la longitud de primera madurez (LM) de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente.....	64
Figura 20.	Intervalos de confianza de los parámetros del modelo logístico que describe la longitud de primera madurez (LM) del pez vela <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec para los años 2005 y 2008 conjuntamente. a) Perfil de verosimilitud de la LM b) perfil de verosimilitud del parámetro β . La línea sólida muestra los valores de los parámetros y la línea punteada muestra la probabilidad de χ^2	65
Figura 21.	Número de anillos de crecimiento y su radio a cada anillo de <i>Istiophorus platypterus</i> del Golfo de Tehuantepec, México. Se muestra la media ($\pm$ ES).....	66
Figura 22.	Composición de edades de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México.....	67

Figura 23.	Promedio mensual del incremento marginal (IM) para el <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México. Barras verticales son los intervalos de confianza al $\pm 95\%$, los números arriba de las barras verticales es el tamaño de la muestra.....	68
Figura 24.	Relación lineal (línea punteada) y potencial (línea continua) entre la longitud ojo-furca (cm) y el radio de la espina (mm) de <i>Istiophorus platypterus</i> el Golfo de Tehuantepec, México.....	69
Figura 25.	Modelo de crecimiento de Schnute (línea continua) ajustado a la longitud ojo-furca (puntos) de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México. La línea superior e inferior punteada es el intervalo de confianza al $\pm 95\%$	71
Figura 26.	Perfiles de verosimilitud de los parámetros ι , δ , λ y ρ estimados del modelo de crecimiento de Schnute. La línea continua representa el perfil del logaritmo negativo de verosimilitud y la línea punteada es la probabilidad de χ^2	72
Figura 27.	Modelo de crecimiento de von Bertalanffy (línea continua) ajustado a la longitud ojo-furca (puntos) de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec, México. La línea superior e inferior punteada es el intervalo de confianza al $\pm 95\%$	73
Figura 28.	Contorno de confianza, basado en el logaritmo negativo de verosimilitud de los parámetros L_{∞} y k , estimados para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy. El área central en gris denota el área de confianza conjunta para los parámetros (χ^2 , $P < 0.05$).....	73
Figura 29.	Estructura de tallas de las capturas de <i>Istiophorus platypterus</i> de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.....	76
Figura 30.	Capturas observadas (puntos) y capturas estimadas (línea continua) a partir de algoritmo de captura a la talla propuesto por Sullivan <i>et al.</i> (1990).....	77
Figura 31.	Selectividad de <i>Istiophorus platypterus</i> de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.....	78

Figura 32.	Mortalidad por pesca a la talla de <i>Istiophorus platypterus</i> de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.....	79
Figura 33.	Tasa de explotación a la talla de <i>Istiophorus platypterus</i> de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.....	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Estadística descriptiva del muestreo realizado en torneos de pesca deportiva de <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec.....	21
Tabla 2.	Estadística descriptiva del muestro realizado en la pesca artesanal de <i>Istiophorus platypterus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.....	21
Tabla 3.	Estadios de desarrollo ovárico y subestadios de desarrollo de los ovocitos de las hembras de <i>Istiophorus platypterus</i> . Diámetro medio $\pm$ ES ($P < 0.05$).....	54
Tabla 4.	Número de hembras y machos de <i>Istiophorus platypterus</i> agrupados por trimestre con el valor de χ^2 asumiendo una proporción 1:1 en cada periodo de año.....	60
Tabla 5.	Clave talla-edad de <i>Istiophorus platypterus</i> del Golfo de Tehuantepec, México.....	67
Tabla 6.	Longitud ojo-furca media retro-calculada para <i>Istiophorus platypterus</i> del Golfo de Tehuantepec, México.....	70
Tabla 7	Parámetros de crecimiento estimados para el pez vela <i>Istiophorus platypterus</i> en diferentes áreas geográficas. Se indica el modelo que se utilizó para la descripción del crecimiento. ♀ Hembras, ♂ machos, L* tipo de longitud utilizada; LTRC Longitud del tronco (del borde del ojo a la parte inferior de la inserción de las quillas caudales); LMIF Longitud de la mandíbula inferior a la furca; LOF Longitud ojo-furca. Los parámetros de cada modelo y si se reportan los intervalos de confianza (IC), así como el algoritmo utilizado para la estimación de los parámetros de cada modelo: Suma de cuadrados (SSQ), logaritmo de verosimilitud (lnL), no se menciona (NM).....	98
Tabla 8	Diámetro estimado (μm) de cada moda y número de modas por cada estadio de desarrollo ovárico. Se presenta el intervalo de confianza y la desviación estándar (σ).....	132
Tabla 9	Salidas del modelo CASA para <i>Istiophorus platypterus</i> en el Golfo de Tehuantepec.....	133

GLOSARIO

Algoritmo de Newton: En análisis numérico, método eficiente para encontrar aproximaciones de los ceros o raíces de una función (Burden & Faires, 1985).

Annulus: Anillo concéntrico formado con periodicidad anual. Formado por dos bandas de crecimiento, una de crecimiento rápido (translucido) y otro de crecimiento lento (opaco) (Panfili *et al.*, 2002).

Atresias: Células en degeneración estructural y/o de reservas energéticas. Normalmente ocurre en gametos femeninos en etapas de vitelogénesis avanzadas (Tyler & Sumpter, 1996)

Banda de crecimiento: Porciones que forman una annulus. Un par de bandas de crecimiento forman un annulus (Panfili *et al.*, 2002).

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): Cantidad de recurso pesquero en peso o en número capturado, en función del esfuerzo invertido en la extracción (viaje de pesca) (http://www.nefsc.noaa.gov/techniques/tech_terms.html#tt6).

Desbordamiento. Superación de los límites. En informática ocurre cuando las operaciones numéricas producen resultados demasiado grandes para ser almacenados en los sitios designados para ello (http://en.wikipedia.org/wiki/Integer_overflow).

Folículos postovulatorios: Membranas externas que rodean al ovocito y permanecen como residuo después de que el ovocito ha sido liberado (Hunter *et al.*, 1985).

Función de Verosimilitud (o verosimilitud): es una función de los parámetros de un modelo estadístico que permite realizar inferencias acerca de su valor a partir de un conjunto de observaciones (Fisher, 1922).

Función objetivo: En programación lineal, función que debe ser optimizada (minimizando o maximizando) de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones (Loomba, 1964).

Longitud de primera madurez (LM): Longitud a la que el 50% de la población se encuentra madura (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Modelo de evaluación: Herramienta que provee una evaluación cuantitativa de la condición del stock explotado y es una forma de medir el impacto de varios patrones de explotación. (Megrey & Wespestad, 1988).

Retrocálculo: Estimación de tallas a edades anteriores de un organismo con base a las mediciones realizadas a los annuli que presenta una estructura dura. (Francis, 1990).

Sobrepesca de crecimiento: Pesca excesiva de organismos de talla o edad temprana. Captura de peces que aún no han alcanzado el peso con el que se obtiene el rendimiento óptimo (Haddon, 2001).

Sobrepesca de reclutamiento: Pesca excesiva de organismos adultos reproductores. Ocurre cuando el tamaño del stock se ve reducido a niveles por debajo del cual se producen los reclutas suficientes para reemplazar a las pérdidas (Haddon, 2001).

Stock: Subconjunto de una determinada especie que posee los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad que habita un área geográfica en particular (Sparre y Venema, 1997). En el presente trabajo se entenderá por stock, como la fracción de la población de pez vela *Istiophorus platypterus* al que tiene acceso la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca.

Tasa de explotación (μ): Proporción del número de peces disponibles que son extraídos en un periodo de tiempo específico (<http://www.stateofthesalmon.org/resources/glossary.asp?let=h>).

Tasa instantánea de mortalidad natural o coeficiente de mortalidad natural (M): Mortalidad natural. Componente de la mortalidad debida a causas diferentes a la pesca (Sparre & Venema, 1997).

Tasa instantánea de mortalidad por pesca o coeficiente de mortalidad por pesca (F): Mortalidad por pesca. Componente de la mortalidad causada por la pesca (Quinn & Deriso, 1999).

RESUMEN

En el océano Pacífico se reconoce al Golfo de Tehuantepec como una de las áreas de mayor abundancia de *Istiophorus platypterus* y en la cual se llevan a cabo capturas incidentales en la pesca comercial de pequeña escala. El objetivo del presente trabajo fue, determinar la tasa de explotación del pez vela en el Golfo de Tehuantepec por parte de la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca. Para conocer el estado de explotación del pez vela, diferentes aspectos de la biología del recurso fueron estimados y los parámetros de crecimiento utilizados en la solución de un modelo estructurado en tallas denominado CASA. La información correspondió a muestras dentro del periodo 2000 a 2008. Registrándose la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), longitud ojo-furca (LOF), peso y sexo. Se recolectó la cuarta espina dorsal para la estimación de crecimiento y las gónadas de las hembras para la determinación del estadio de madurez. Los individuos presentaron un intervalo de tallas de 55 a 240 cm de LOF y un peso de 1.6 a 69.7 kg. La estructura de tallas fue unimodal, con una variación temporal de la talla promedio que mostró una tendencia negativa. La CPUE no presentó una tendencia clara, con valores promedio de 2.5 org/viaje. *I. platypterus* presentó ocho subestadios de los ovocitos y dos estructuras postovulatorias. Adicionalmente se identificó un nuevo estadio definido como, desovado. La época de mayor actividad reproductiva fue observada en junio (Índice Gonadosomático (IGS) promedio mensual = 1.6) y septiembre (IGS promedio mensual = 2.3). Las estimaciones de frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) muestran que este análisis puede ser útil como herramienta para la evaluación de madurez. La longitud de primera madurez (LM) estimada es de 150.2 cm LOF (IC = 140.5 - 159 cm, $P < 0.05$). A partir del incremento marginal de las espinas se observó que los anillos de crecimiento se forman anualmente durante los meses de septiembre a diciembre. Se observaron 11 grupos de edad (1 a 11 años) con un coeficiente de variación (CV) de 10.8. Los grupos de edad 5 y 6 fueron los mejor representados (32% y 24% respectivamente), seguido del grupo de edad 4 (14%). El modelo que describió mejor el crecimiento del pez vela fue el de von Bertalanffy $L_{\infty} = 180.6$ cm (IC = 176 - 186 cm, $P < 0.05$), $k = 0.36$ años⁻¹

(IC = 0.34 - 0.39, $P < 0.05$), $t_0 = -0.24$ años (IC = -0.30 a -0.18, $P < 0.05$). El valor negativo de verosimilitud estimado fue de -27.31 y un valor del criterio de información de Akaike (AIC) = 60.62. Mientras que el modelo de crecimiento de Schnute presentó un valor de AIC = 67.86. En la solución del modelo estructurado en tallas denominado CASA, se observó una alta selectividad de tallas. El grupo de talla de 174.5 cm de LOF es el que más contribuye a las capturas, presentando una tasa de explotación de 50% solo para este grupo de tallas. Los organismos completamente reclutados a la pesquería prácticamente ya han alcanzado la longitud máxima asintótica. La tasa de explotación promedio para todos los grupos de talla se encuentra por debajo del 35%. Con base en esto, se considera que el stock explotado en Puerto Ángel, Oaxaca, no se encuentra en riesgo de sobre explotación.

ABSTRACT

In the Pacific Ocean, it is known that in the Gulf of Tehuantepec there is an area of high abundance of *Istiophorus platypterus* and there are incidental catches by the artisanal fleet. The objective in this study was to determine the current exploitation rate of sailfish *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec by the artisanal fleet in Puerto Angel, Oaxaca. To estimate the current exploitation status of sailfish, several biological features of the species were analyzed, and the growing parameters were included in the catch-at-size analysis model known as CASA. The information was analyzed from 2000 to 2008. Catch per unit effort (CPUE), eye fork length (EFL), weight and sex, were recorded. The fourth dorsal fin spine was used for growth estimations and female gonads were used for reproductive assessment. The EFL was between 55 to 240 cm and weights between 1.6 to 69.7 kg were recorded. The size structure was unimodal, and the mean size temporal variation shows a negative tendency. The CPUE did not have a clear tendency with CPUE mean of 2.5 individuals per trip. For *I. platypterus* we identified five stages of ovarian development, eight kinds of oocytes, and two postovulate structures. We found that the species has a broad reproductive period with peaks identified in June (mean monthly GSI = 1.6) and September (mean monthly GSI = 2.3). The estimates of the sizes frequency distribution of whole oocytes (FDWO) showed that this analysis may be used as a tool to assess maturity. The Length of maturity (LM) for this species in the Gulf of Tehuantepec is 150.2 cm EFL (IC = 140.5 - 159 cm, $P < 0.05$). The growth rings were formed annually through September to December months as shown by the marginal increment analysis. We observed 11 age groups (1 to 11 years) with a coefficient variation (CV) = 10.8. The ages 5 and 6 were the best represented (32% and 24% respectively), followed by age group 4 (14%). The best candidate model was selected using Akaike's information criterion. We found the growth curve for sailfish from the Gulf of Tehuantepec is based on the three-parameter model rather than the generalized Schnute model. The parameters estimated and confidence intervals were (a) mean asymptotic eye fork length 180.6 cm (IC = 176 to 186 cm, $P < 0.05$), (b) Brody growth coefficient 0.36 (IC = 0.34 to 0.39, $P < 0.05$), and (c) hypothetical age at length zero 0.24 (IC = 0.30 to 0.18, $P < 0.05$). Consequently, I believe that the von Bertalanffy growth function adequately described the individual

mean growth for this species in the region. Outputs of the CASA showed high size selectivity, size class of 174.5 cm EFL was the most abundant in catch, and its harvest rate was almost 50%. The organism fully recruited to the fishery reached the asymptotic length. The harvest rate for all size classes was below 35%. Finally, we consider that the sailfish *Istiophorus platypterus* stock of Puerto Angel, Oaxaca has low risk of overfishing.

INTRODUCCIÓN

Los peces de pico se encuentran clasificados dentro de la familia Istiophoridae y Xiphiidae del suborden Scombroidei, ellos realizan migraciones considerablemente largas, pero se conocen pocos registros de migraciones transoceánicas para este grupo (Ortiz *et al.*, 2003; Prince *et al.*, 2006). Estos peces son los depredadores más grandes y veloces en el océano y se distinguen por un pico largo, áspero y redondo (marlines y pez vela) o plano (pez espada) (Nakamura, 1985). Las seis especies que se distribuyen en el Océano Pacífico (OP), son objeto de pesca comercial y deportiva.

La especie *Istiophorus platypterus* (Shaw & Nodder, 1792) es especialmente abundante en zonas costeras ecuatoriales del OP y del Océano Índico (Beardsley *et al.*, 1975), donde es de importancia económica (Chiang *et al.*, 2009; Hoolihan, 2003). En el Pacífico Oriental Tropical (POT) ha sido mayor la presencia de las flotas palangreras comerciales de Japón, Korea y Taiwan (Anónimo, 1997). Las flotas deportivas se encuentran concentradas principalmente en grandes ciudades costeras o destinos turísticos, desde el sur de California hasta centro y Sudamérica (Anónimo, 2000; Greenough & Rothschild, 1989). Ésta especie también soporta pesquerías artesanales de México, Guatemala, Costa Rica y Panamá (Prince *et al.*, 2006). Se ha llegado a considerar que la principal fuente de mortalidad por pesca es debida a la pesca con palangre de atún de alta mar (Squire & Muhlia-Melo, 1993; Squire & Suzuki, 1990; Squire & Au, 1990; Greenough & Rothschild, 1989).

Desde la incursión por parte de la flota palangrera japonesa en aguas del Pacífico mexicano y posteriormente por actividades de la flota palangrera mexicana, se reconoce al Golfo de Tehuantepec (Fig. 1) como núcleo de distribución de *I. platypterus* al registrarse ahí los valores más altos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) (Arias-Olaiz, 2007; Martínez-Rincón, 2005; Squire & Au, 1990; Skilman, 1989). Se considera que los organismos de *I. platypterus* distribuidos en el POT pertenecen a un mismo stock (Collette *et al.*, 2006; Graves & McDowel, 2003; Prince *et al.*, 2006; Skilman, 1989) y que los desplazamientos estacionales a lo largo de la costa, parecen

coincidir con los cambios estacionales de la isoterma de los 28 °C (Kume & Joseph, 1969; Nakamura, 1985; Santana-Hernández, 2001).

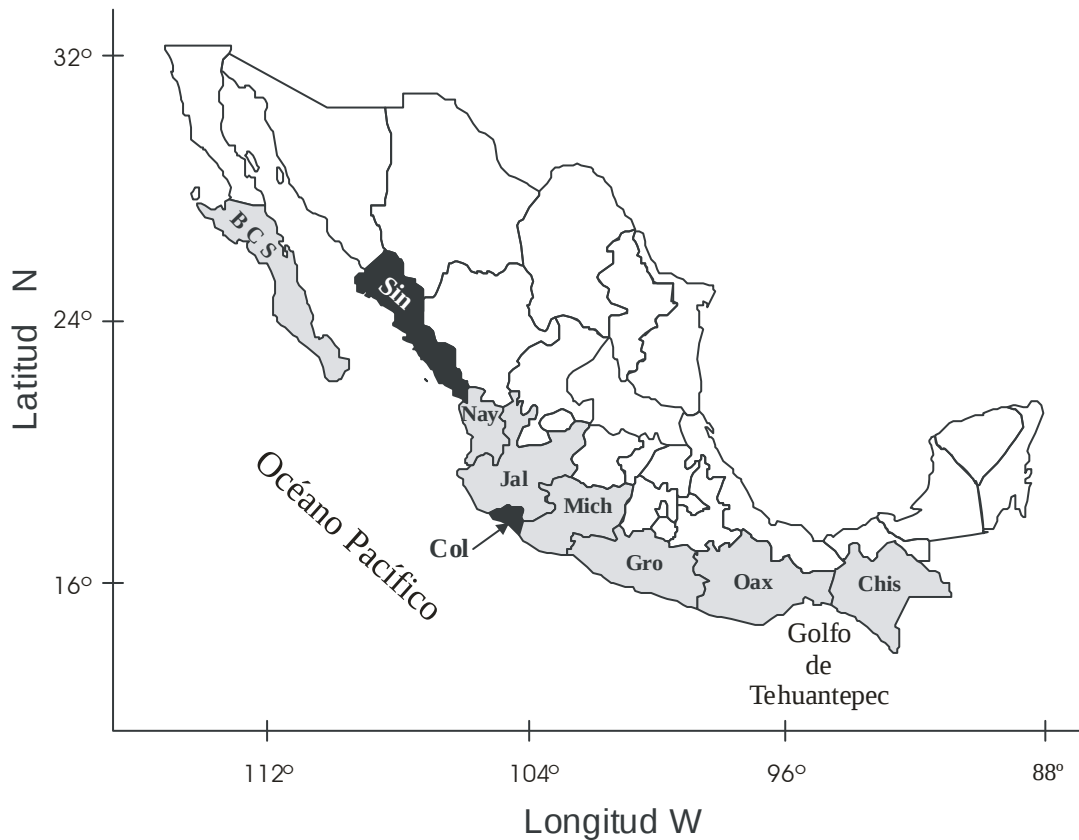


Figura 1. Estados de la república frente a los que se localizan los principales sitios de pesca deportiva para *Istiophorus platypterus*; Colima (Col) y Sinaloa (Sin). En gris claro se muestran los estados costeros donde comúnmente *I. platypterus* se encuentra distribuido; Baja California Sur (BCS), Nayarit (Nay), Jalisco (Jal), Michoacán (Mich), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), y Chiapas (Chis).

La expansión de las jurisdicciones nacionales en todo el mundo a principios de la década de los 80's dio lugar a un creciente interés por desarrollar acuerdos sobre lineamientos y políticas para el manejo de las pesquerías de picudos (Shomura, 1980; Sosa-Nishisaki, 1998). Para lo cual es básico conocer el estado de explotación de los stocks de peces. Sin embargo, dadas sus características de gran movilidad y distribución en grandes extensiones geográficas se ha dificultado la obtención de información acerca de sus movimientos, patrones de distribución, así como también de sus historias de vida (Prince & Brown, 1991; Uozumi, 2003). Esta falta de información

ha impedido en gran medida las iniciativas para el manejo de los stocks de picudos con bases sustentables (ICCAT, 2001; Skillman, 2000).

Para un completo entendimiento de los efectos de la pesca y la productividad del stock pesquero se requiere conocimiento sobre tasas de crecimiento, mortalidad, reproducción y otros parámetros que determinan la dinámica poblacional de una especie (Skillman, 2000). En el caso de *I. platypterus* en el POT, la información con que se cuenta se limita a la composición de tallas y algunas estimaciones de tasas de crecimiento (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; 1998), parámetros reproductivos (Hernández & Ramírez, 1998, Hernández-Herrera *et al.*, 2000) y el único tipo de información disponible para propósitos de la evaluación del recurso son estadísticas referentes al esfuerzo de pesca nominal y capturas (Macías-Zamora *et al.*, 2001).

Istiophorus platypterus es una especie importante para la pesca deportiva del Pacífico mexicano. El gobierno mexicano ha recomendado que ésta especie sea reservada para la pesca deportivo-recreativa, por ello no otorga permisos para su captura comercial. Estos lineamientos se encuentran contenidos en la Carta Nacional Pesquera, documento legal que describe las necesidades para el manejo de la pesquería (Álvarez-Torres *et al.*, 2002). El gobierno federal controla el número de licencias y establece el número máximo de capturas por la pesca deportiva que está limitada a un organismo (marlin, pez vela o pez espada) por embarcación al día. Los principales sitios para la práctica de la pesca deportiva de *I. platypterus*, se encuentran localizados a lo largo de las costas de Colima y Sinaloa, aunque la especie también se distribuye en las costas de Jalisco, Nayarit, Baja California Sur, Guerrero, Oaxaca, y Chiapas (Fig. 1). Por la abundancia y disponibilidad de *I. platypterus* en la costa del Pacífico de México también se le encuentra como captura incidental en las flotas de pesca artesanal (Macías-Zamora *et al.*, 2001; Cerdenares *et al.*, 2003).

El gobierno mexicano con el propósito de proteger las áreas de reproducción de *I. platypterus* estableció dos zonas de exclusión para la flota comercial (Macías-Zamora *et al.*, 2001). El Golfo de Tehuantepec representa una de las zonas importantes donde las

flotas comerciales no tienen permitido la captura de picudos. La otra zona se encuentra en la costa occidental de la península de Baja California y la boca del Golfo de California. A pesar de estos esfuerzos de protección, en la normatividad no se cuenta con una talla de primera captura (DOF, 2000).

La disponibilidad y accesibilidad de este recurso a la flota artesanal en la costa del Golfo de Tehuantepec facilita que se registren capturas incidentales de picudos y que la pesca artesanal de algunas localidades dirija su esfuerzo a la captura de *I. platypterus* con fines comerciales (Díaz-Uribe *et al.*, 1999; Cerdenares *et al.*, 2003). En los estados del noroeste de México, la pesca deportiva es una actividad económica preponderante y donde además la flota comercial palangrera tiene sus principales puertos de desembarque, la cual captura de forma incidental *I. platypterus*. Esta situación ha provocado un conflicto de intereses entre los pescadores deportivos y comerciales (artesanales y palangreros) con mayor intensidad en el noroeste del país.

El sector turístico justifica la exclusividad de explotación de *Istiophorus platypterus* y otras especies de picudos para la pesca deportiva, basándose en la derrama económica que produce esta actividad en los lugares donde se practica y atribuyen a la pesca con fines comerciales la disminución en las tasas de capturas de picudos, argumentado que la pesca comercial, no es selectiva y que captura indiscriminadamente todas las tallas y edades a partir de individuos juveniles con un efecto negativo para la población. En tanto que los pescadores ribereños de pequeña escala, argumentan que la pesca es la única fuente de ingresos y que las especies reservadas para la pesca deportiva son las únicas disponibles para su explotación.

En el Golfo de Tehuantepec, las actividades de la pesca deportiva son escasas, limitándose a unos cuantos torneos anuales por lo que la información que se obtiene a partir de esta actividad no es suficiente para conocer el estado del recurso. La captura de pez vela por parte de la flota artesanal aunque es una actividad ilícita, facilita el seguimiento del recurso, permitiendo actualizar el conocimiento sobre el estado del mismo en la zona. Un ejemplo de ello es Venezuela país donde se creó y expandió

(1990 y 2000 respectivamente) una zona de exclusión para la pesca palangrera y con red de especies de pico, *Istiophorus albicans* (Latreille, 1804), *Makaira nigricans* Lacépède 1802, *Tetrapturus albidus* (Poey, 1860) y *Tetrapturus pflugeri* (Robins & de Sylva, 1963) (Alio & Marcano, 2001), permitiendo a su vez la permanencia de algunas embarcaciones de pequeña escala, que con la creación de un programa de muestreo de las actividades de esta flota, ha permitido monitorear las variaciones en la abundancia de estos recursos en esa zona (Marcano *et al.*, 2000).

A partir del año 2000 se inició por parte de la Universidad del Mar, un monitoreo de la actividad pesquera a pequeña escala de Puerto Ángel, Oaxaca. La información que se obtuvo en un principio, básicamente se limitó a registros de talla de las capturas de pez vela. Del 2005 al 2008 se registraron las capturas, el esfuerzo y se recolectaron muestras biológicas.

Con la información antes mencionada, en el presente trabajo se desarrollaron dos líneas de investigación, la primera consistió en conocer descriptores biológicos, mediante la estimación de la edad, el crecimiento individual y la evaluación reproductiva de *Istiophorus platypterus*, a través de la proporción de sexos, estacionalidad reproductiva y estimación de la longitud de primera madurez. En la segunda, se realizó la evaluación de las tasas de captura de *I. platypterus* durante el periodo 2005-2008 por parte de la flota artesanal, que opera en la costa del Golfo de Tehuantepec, México.

ANTECEDENTES

La mayor parte de las capturas de peces de pico es obtenida por las flotas palangreras que operan en aguas internacionales en el océano abierto, pero también son importantes recursos para pesquerías artesanales costeras en diversas partes del mundo y existe el interés por conocer el estatus de explotación de estos recursos. Sin embargo, existen severas deficiencias en la información disponible sobre los stocks de peces de pico que dificultan la posibilidad de evaluar su situación actual (Skillman, 2000; Uozumi, 2003).

Evaluación del recurso del Atlántico

En el Atlántico, las evaluaciones de peces de pico se han realizado utilizando modelos de producción que no asumen equilibrio, del tipo Schaefer (ASPIC, Prager, 1994), con la estandarización de la CPUE y sobre las capturas de las principales pesquerías, incluyendo algunas pesquerías artesanales y deportivas. De esta forma se encontró que todas las especies de peces de pico en el Atlántico han sido sobre explotadas (Uozumi, 2003; Die, 2006). La evaluación del stock de *Istiophorus platypterus* del Atlántico Oeste ha sido realizado utilizando el modelo ASPIC con la estandarización de la serie de la CPUE de la flota palangrera japonesa, de la flota deportiva de USA, Venezuela y México (Jones & Farber, 1994; Farber *et al.*, 1996). Para el caso del stock del Atlántico Este, se utilizaron series de datos de CPUE estandarizados, incluyendo las flotas artesanales que utilizan redes de deriva y pesquería deportiva para el análisis del modelo de producción (Jones *et al.*, 1998).

Recientemente la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT, por sus siglas en inglés) en su reporte de la evaluación de *I. platypterus* del 2009, menciona que los stocks tanto del este como del occidente presentaron antes de 1990 su mayor disminución de abundancia y que a partir de entonces no observaron una clara tendencia de disminución o incremento de la biomasa. Adicionalmente la tendencia en la estructura de tallas o talla promedio no presentó variaciones durante el

periodo en que se cuenta con esta información, lo cual hace cuestionable el uso de la talla promedio como un indicador de la presión de pesca (ICCAT, 2009). En este mismo reporte se menciona que son las flotas artesanales de la costa de África (stock del este), y las de la costa Atlántica de América (stock del oeste) las que obtienen las mayores capturas de *I. platypterus* en el Atlántico (ICCAT, 2009).

Evaluación del recurso del Indo-Pacífico

En el Océano Índico recientemente, Chiang *et al.* (2009) evaluó el estatus de la pesquería de *Istiophorus platypterus* en las aguas del este de Taiwan, al comparar la mortalidad por pesca al nivel actual contra puntos de referencia biológicos ($F_{0.01}$, F_{SSB25} , F_{SSB40} , los dos últimos corresponden al 25% y 40% de la biomasa por recluta desovante del stock virgen). Estos autores reportan que la curva de rendimiento por recluta es sumamente aplanada por lo que no fue posible definir el máximo, y éste no es alcanzado bajo ningún nivel de mortalidad por pesca, hecho que fue interpretado como un indicador de que el stock se encuentra moderadamente explotado con bajo riesgo de ser sobre explotado.

En el POT son escasas las evaluaciones que se han realizado de los stocks de peces de pico. Únicamente para *Xiphias gladius*, se mantiene un seguimiento, debido a su importancia comercial en el mercado mundial (Hinton & Alvarado-Bremer, 2007; Skilman, 2000). A diferencia de lo que se reporta para las especies de pico del Atlántico, donde los stocks se consideran sobreexplotados o en riesgo (Die, 2006), las evaluaciones de los efectivos del POT muestran que se encuentran en buen estado. Sin embargo, estas estimaciones no son confiables (Skilman, 2000). Estas revisiones se han basado principalmente en las capturas de la flota palangrera de Japón, Korea y Taiwan que opera en el área. Una de las principales limitantes para la realización de una adecuada evaluación del recurso, es la carencia de una serie de tiempo apropiada. Adicionalmente, las capturas de *I. platypterus* y del pez de trompa corta *Tetrapturus angustirostris* Tanaka, 1915, se han reportaron de manera conjunta. Aun así, Skillman (1989) realizó una evaluación aplicando un modelo de producción. La forma de la curva

de captura indicó que ésta pesquería mezclada se encontraba aún en la sección ascendente (Skillman, 1989).

En el Pacífico mexicano, se han realizado estudios del efecto del esfuerzo pesquero sobre el recurso. Klett (1987) al aplicar el modelo de producción excedente de Fox estimó un rendimiento máximo sostenible (RMS) de 163,077 individuos al aplicarse un esfuerzo de 25 millones de anzuelos, mencionando además que el nivel de explotación al que se ha sometido el recurso excede el necesario para alcanzar el RMS. Osuna-Flores (1991), encontró que con un nivel de esfuerzo óptimo de 35 millones de anzuelos se pueden obtener rendimientos por 250,000 individuos, concluyendo con base en la tendencia de las estadísticas de pesca, que la especie se encontraba sobre explotada. Sin embargo, reconoce que el tipo de modelo utilizado no proporciona información consistente en el caso de *I. platypterus*.

Macías-Zamora *et al.* (2001), reportaron una evaluación del stock por medio de un modelo demográfico estructurado por edades (Hilborn & Walters, 1992) y un modelo con desfaseamiento (Deriso, 1980). Los resultados que obtuvieron fue una biomasa virgen de 43,000 t, una mortalidad natural de 0.38 y un RMS de un poco más de 8,300 t anuales. De acuerdo con este autor el recurso puede soportar un esfuerzo mayor al que actualmente se ejerce. En fechas recientes, Macías-Zamora (2002) consideró que los cambios en las tasas de explotación en la pesca deportiva o comercial podrían estar dados por cambios en la distribución de la especie, por lo que aplicó un modelo con estructura espacial explícita con el objeto de detectar y evaluar posibles cambios en abundancia provocados por la actividad pesquera. Como resultado de la evaluación, encontró que cuando se ejerce la actividad comercial de forma muy costera la población total se reduce hasta en un 35 % y la fracción de la población vulnerable aún más.

Parámetros de la historia de vida de *Istiophorus platypterus*

Los datos disponibles para *I. platypterus* frecuentemente presentan sesgos en las estimaciones de crecimiento y reproducción, debido a que la información es obtenida a

partir de organismos capturados en las actividades de la flota deportiva en el Pacífico mexicano, cuyo objetivo es capturar las especies de tamaño mayor. Por esto, la información es parcial, donde los organismos de menor talla de la población rara vez son muestreados y por tanto los modelos disponibles solo describen la dinámica poblacional de los individuos adultos.

Aunque se considera que los organismos distribuidos en el POT pertenecen a un mismo stock (Graves & McDowel, 2003; Prince *et al.*, 2006; Skilman, 1989), la mayoría de los estudios biológicos realizados con relación a *I. platypterus*, están basados en capturas obtenidas por la flota deportiva que opera en el noroeste del país y/o por la pesca comercial efectuada en zonas oceánicas del Pacífico mexicano e incluso de aguas internacionales y al parecer los organismos disponibles en cada área es el resultado de una migración diferencial (Ovchinnikov, 1970; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Hernández-Herrera, 2001).

Crecimiento

Istiophorus platypterus presenta un crecimiento rápido durante su primer año de vida, los organismos a partir del cuarto año de vida se encuentran completamente reclutados al stock de adultos (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1998; Macías-Zamora, 2002). Sin embargo, la estructura por edades reportada por diferentes autores a lo largo de su distribución no es la misma, sugiriéndose que es el efecto de la etapa del ciclo de vida en que se encuentran los organismos disponibles en cada área durante una migración diferencial (Ovchinnikov, 1970; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Hernández-Herrera, 2001). En contraste a lo anterior, también se ha reportado que la estructura por tallas de las capturas de *I. platypterus*, presenta una tendencia unimodal generalizada de los organismos capturados frente a las costas de nuestro país (Macías-Zamora *et al.*, 2001; Macías-Zamora, 2002; Cerdenares, 2005).

Diversos estudios sobre edad y crecimiento donde han utilizado datos originados de la pesca deportiva fueron documentados en el Océano Atlántico. De Sylva (1957), basado

en el análisis de la frecuencia de tallas, estimó la edad y el crecimiento de *I. platypterus*, concluyendo que la especie presenta un crecimiento rápido y tiempo de vida corto (4 años). Jolley (1977) y Hedgepeth & Jolley (1983) analizando cortes de espinas dorsales de *I. platypterus* reportó ocho clases de edad. Por su parte Prince *et al.* (1986) basado en datos de marcado y recaptura estima una edad máxima entre 13 y 15 años para el pez vela del Atlántico. En el Pacífico mexicano datos dependientes de la pesca deportiva, mostraron que la migración de *I. platypterus* en la región modifica la estructura de tallas de la población, cambiando de acuerdo a la estacionalidad de la especie (Macías-Zamora *et al.*, 2001; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996). En estos estudios se ha estimado el crecimiento resultando en una sobre estimación de las tallas de los organismos más jóvenes (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Macías-Zamora *et al.*, 2001). Freire *et al.* (1998), reportan para *I. albicans* de las aguas del noroeste de Brasil, organismos entre 3 y 10 años de edad, haciendo notar que el núcleo vascularizado de las espinas ocultó hasta 6 de los primeros anillos de crecimiento.

Los trabajos más recientes sobre edad y crecimiento individual de *I. platypterus*, son los de Chiang *et al.* (2004), Ramírez-Pérez (2005) y Hoolihan (2006). Chiang *et al.* (2004) recomienda el uso del modelo de Richards (1959) para la descripción del crecimiento de *I. platypterus* distribuido en las aguas de Taiwan al considerar que no sobreestima la talla de los primeros grupos de edad y reporta modelos de crecimiento tanto para hembras como para machos. Este autor reporta edades máximas de 11 años para machos y 12 años para hembras. Ramírez-Pérez (2005) reporta 7 grupos de edad y no encuentra diferencias significativas en el crecimiento de hembras y machos en organismos capturados en el noroeste del Pacífico mexicano. Hoolihan (2006) encuentra que los organismos con edades de 1, 0+ y 3 años de edad representaron el 75% de los organismos muestreados y en ese orden de importancia. Este autor hace referencia al hecho del crecimiento diferencial entre machos y hembras, donde las últimas alcanzan tallas mayores.

Reproducción

En el POT *I. platypterus* presenta un extenso patrón reproductivo a la largo de todo el año. Sin embargo, la mayor actividad reproductiva fue observada durante el verano. En esta época la temperatura superficial del mar se encuentra entre los 27° y 30° C (Kume & Joseph, 1969; Nakano & Bayliff, 1992; Hernández & Ramírez, 1998). Evaluaciones reproductivas adicionales del *I. platypterus*, indican que ésta es una especie con desoves múltiples al presentar ovocitos en diferentes subestadios de desarrollo (Jolley, 1977; Hernández-Herrera *et al.*, 2000; Chiang *et al.*, 2006). Hernández-Herrera *et al.* (2000) analizaron la frecuencia de los ovarios con ovocitos hidratados durante dos desoves consecutivos. Ellos estimaron que *I. platypterus* en el Pacífico mexicano desova cada 3.6 días, y al menos en 4 ocasiones durante una época reproductiva. La fecundidad de *I. platypterus*, se reporta que varía entre 0.42 y 15.1 millones de huevos en promedio, estimaciones para hembras entre 155 y 190 cm de longitud ojo-furca (LOF) (Eldridge & Wares, 1974; Hernández-Herrera *et al.*, 2000; Macías-Zamora, 2002). En cuanto a la longitud de primera madurez sexual (LM), se observa una gran variabilidad en las estimaciones. Hernández & Ramírez (1998) estiman una LM de 175 cm de LOF para *I. platypterus* del norte del Pacífico mexicano y Chiang *et al.* (2006) reporta una LM de 146 cm LOF para el este de Taiwan, en ambos casos la evaluación se realizó con base en observaciones histológicas. Para el caso del pez vela del Atlántico, Arocha & Marcano (2008) y Mourato *et al.* (2009) usando la longitud de la mandíbula inferior a la furca (LMIF) determinaron una LM de 180 cm y 154.9 cm respectivamente. Ambas estimaciones basadas en una escala morfocromática de los ovarios.

Son varios los reportes de larvas y/o juveniles de *I. platypterus* en el Pacífico mexicano, sin embargo, debido a que estos están comúnmente limitados a un evento de colecta no se pueden considerar como indicadores confiables de la actividad reproductiva de la especie (Guzmán-Arroyo & López-Ramos, 1986; Aguilar-Palomino *et al.*, 1994; Hernández-Herrera *et al.*, 2002). Vidaurri-Sotelo *et al.* (1998) reportaron la captura de 2 juveniles de *I. platypterus* de 140 y 175 mm de longitud total, en el Golfo de

Tehuantepec durante el mes de julio y en aguas con una temperatura de 31 °C. Cerdenares *et al.* (2004) reportaron 23 larvas de *I. platypterus* con una longitud de entre 2.1 a 3.1 mm de longitud notocordal, las cuales fueron colectadas en el mes de octubre frente a la bahía de Puerto Ángel, en aguas con temperaturas de 31°C, confirmando que la actividad reproductiva sucede en esta área, pero la información no fue suficiente para determinar la época de mayor actividad reproductiva en el área.

Oceanografía pesquera

Para explicar la presencia estacional de *I. platypterus*, diferentes autores coinciden en señalar que está relacionado con el desplazamiento latitudinal de la temperatura superficial del mar (TSM). Kume & Joseph (1969) mencionaron que los desplazamientos latitudinales del *I. platypterus* se encuentran relacionados con la isoterma de los 28°C, en tanto que Arias-Olaíz (2007), sugirió que la isoterma de los 21°C es la frontera de distribución de estos peces.

Por su parte, Macías-Zamora (1993) concluyó que existe una relación entre la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de los torneos de pesca y la TSM en el área Manzanillo Colima, México. Este mismo autor reportó que las mayores abundancias en la boca del Golfo de California se presentaron cuando la temperatura se encontraba por arriba de los 27 °C y en el Golfo de Tehuantepec se registraron CPUE elevadas durante todo el año en el periodo de 1980 a 1990. Arias-Olaíz (2007) al analizar las capturas de *I. platypterus* de la flota palangrera mexicana en la zona de la boca del Golfo de California, encontró que éstas son mayores en la segunda mitad del año, principalmente a temperaturas mayores a los 27 °C.

Con el propósito de explicar las variaciones interanuales en la abundancia del *I. platypterus* se han realizado análisis entre la CPUE y el Índice Multivariado de El Niño (MEI) debido a que estos eventos son importantes a esta escala de variación para la especie (Halpern, 1983; Fisher *et al.*, 1995). Santana-Hernández (2001) reportó que en el Pacífico mexicano *Istiophorus platypterus* se asocia con la presencia de aguas

cálidas y que durante el evento de La Niña de 1988-1989 se observaron los valores de CPUE más altos en el Golfo de Tehuantepec, lo que intenta explicar como un comportamiento de agregación en las áreas más favorables para el desarrollo de la especie ya que en ésta zona la TSM nunca es menor a 25.5°C (Ortega-García *et al.*, 2000). Asimismo, Jiménez-Quiroz *et al.* (2006) analizaron información de la flota palangrera de bandera mexicana que operó durante el periodo 1985-1989, encontrando que los valores de CPUE de *I. platypterus* en el Pacífico mexicano fueron mayores durante eventos fríos o eventos “La Niña” que los registrados durante los eventos cálidos o eventos “El Niño”. En contraste Martínez-Rincón (2005) mencionó que las mayores concentraciones de *I. platypterus* se presentan en temperaturas superiores a los 28 °C, registrando las tasas de captura más altas de mayo a agosto en el Golfo de Tehuantepec.

Macias-Zamora (2006) al analizar las capturas de los torneos de pesca que se llevaron a cabo en el puerto de Manzanillo, Colima, México entre 1954 y 2001, reportó que existe una relación directa entre el MEI y la CPUE de *I. platypterus*, principalmente para los torneos realizados a partir del año de 1976. En este mismo trabajo, encontró una relación positiva del MEI con las tallas y con los pesos promedio de los organismos capturados durante estos torneos. Sin embargo, Arias-Olaíz (2007) encontró una relación inversamente proporcional entre el índice ambiental MEI y la CPUE estandarizada (CPUEe), indicando que a valores del MEI mayores a la unidad, la CPUEe disminuye y a valores negativos mayores de la unidad, la CPUEe se incrementa.

Adicionalmente se han intentado explicar las variaciones de abundancia de *I. platypterus* con otro tipo de variables ambientales, como la precipitación pluvial (PP), batimetría y concentración de pigmentos fotosintéticos. Cerdanares (2005) señala que las mayores ocurrencias de *I. platypterus* se presentan posteriormente a los máximos de PP, atribuyéndolo, a que el escurrimiento causado por la PP acarrea una gran cantidad de sedimentos que son disparadores de producción de los primeros niveles tróficos los que a su vez son utilizados como alimento por esta especie. Martínez-

Rincón (2005) para el periodo de 1985-1986 reportó una relación positiva entre la distribución de *I. platypterus* y la productividad primaria en el Golfo de Tehuantepec con un desfase de cinco meses.

En cuanto a la abundancia relativa de *I. platypterus* y su relación con la batimetría, Arias-Olaíz (2007) encontró valores altos de CPUEe en las zonas costeras (0-2000 m), valores medios a bajos de CPUEe en las zonas oceánicas asociadas a montañas submarinas, bajos e islotes (2000-4000 m) y valores máximos de CPUEe en las zonas abisales del Golfo de Tehuantepec (4000-6000 m), sugiriendo que probablemente esté relacionado con el efecto provocado por los fuertes vientos que en la zona se generan, más que con la batimetría en sí.

Actividad pesquera en Puerto Ángel, Oaxaca

A lo largo del litoral del Pacífico sur mexicano, se ha identificado la existencia de tres tipos de unidades ecológico-pesqueras homogéneas dentro de la pesca artesanal ribereña (Ramos-Carrillo *et al.*, 2007). Estas unidades se conforman de acuerdo a las características de los artes de pesca, embarcaciones empleadas, así como de la zona de operación. Estas unidades se han denominado como: pesca demersal, pesca pelágica y pesca de tiburón. Dentro de la pesca de tiburón la captura de *I. platypterus* es incidental, mientras que en la pesquería pelágica se presentan las mayores capturas, por lo que se le considera una especie objetivo (Díaz-Uribe *et al.*, 1999; Cerdanarés *et al.*, 2003; Ramos-Carrillo *et al.*, 2007).

La pesca artesanal de pelágicos mayores en Puerto Ángel se efectúa en embarcaciones de entre 25 a 33 pies (7.61 a 10.33 m) de eslora, con una capacidad de carga de entre 1200 a 3000 Kg, con motores fuera de borda de dos tiempos, de 40 a 120 HP.. El equipo de pesca es un palangre de deriva (superficie) modificado, que consiste de una línea madre de ¼ de pulgada (6.35 mm) de calibre, con reinales cada 10 a 15 brazas (aproximadamente 18 a 27 m) (Fig. 2). Cada reinal consiste de un flotador, de 1 a 5 brazadas (1.8 a 9 m) de cuerda de nylon monofilamento calibre 1.5 a

2.5 mm, y al final del cual se fija el anzuelo que puede ser de tipo noruego (recto o J) del No. 1 ó 0, o garra de águila (redondo o “G”), del número 14/0 a 16/0. En cada uno de los extremos del palangre se coloca una banderola de señalamiento (Ramos-Carrillo *et al.*, 2007).

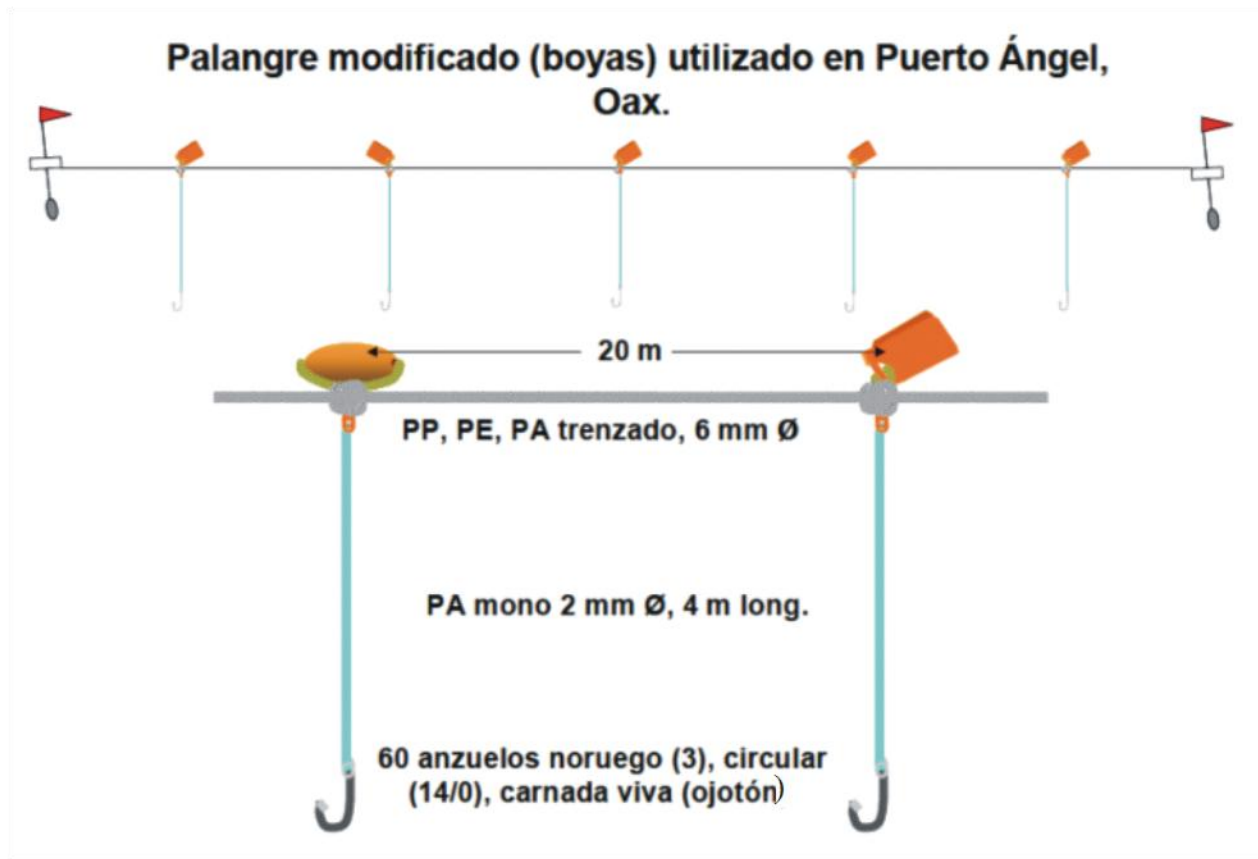


Figura 2. Esquema del palangre modificado utilizado en la pesca de *Istiophorus platypterus* por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec. Tomado de Ramos-Carrillo *et al.*, 2007.

De manera general, las capturas (en número de individuos) están compuestas por túnidos (90%), pez vela *Istiophorus platypterus* (4%), dorado *Coryphaena hippurus* (2%) y tiburones (1%). El grupo de túnidos está integrado por el barrilete negro *Euthynnus lineatus* y el atún aleta amarilla *Thunnus albacares*. El grupo denominado tiburones está compuesto por *Carcharhinus falciformis*, *Sphyrna lewinni*, *Alopias plagicus* y *Carcharhinus limbatus* (Cerdenares *et al.*, 2003; Alejo-Plata *et al.*, 2005)

La actividad pesquera es multiespecífica, y presenta variaciones en el tiempo de acuerdo a la disponibilidad del recurso. Así, la pesca del pez vela inicia su temporada aproximadamente en el mes de marzo y termina en noviembre, pero la mayor abundancia se presenta de agosto a septiembre (Cerdenares *et al.*, 2003; Cerdenares 2005).

HIPÓTESIS

El Golfo de Tehuantepec es un área de alta concentración y reproducción de *Istiophorus platypterus*, por lo que se espera que la tasa de explotación por parte de la flota ribereña sea elevada, y tenga una importante incidencia en tallas pequeñas. De ser así, el stock disponible a la flota artesanal de Puerto Ángel, podría encontrarse sobre explotado y estarse extrayendo organismos que aún no han alcanzado la primera madurez sexual, poniendo en riesgo la sustentabilidad del recurso.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado actual de explotación de *Istiophorus platypterus*, por parte de la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca, en el Golfo de Tehuantepec, México.

Objetivos particulares

- ❖ Analizar la estructura de tallas de las capturas de *I. platypterus* realizadas por la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca.
- ❖ Identificar la estacionalidad reproductiva del *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec.
- ❖ Evaluar la longitud de primera madurez sexual de *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec.
- ❖ Estimar la edad y el crecimiento individual del *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec.
- ❖ Analizar la variación temporal de la CPUE de la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca.
- ❖ Estimar el nivel de explotación del *I. platypterus* ejercido por la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca.

AREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec se encuentra en el Océano Pacífico al sureste de México, delimitado por la zona costera de los estados de Oaxaca y Chiapas, aproximadamente entre las latitudes 14° y 16° norte, y longitudes 92° y 98° oeste (Fig. 3). El Golfo de Tehuantepec es considerado como un centro de actividad biológica por los altos niveles de productividad primaria que presenta como resultado del efecto de los fuertes vientos que en la zona se generan (Ortega-García *et al.*, 2000; Arias-Olaíz, 2007).

La temperatura media anual varía poco en esta parte de la costa del Pacífico, estimándose una máxima anual promedio de 27.5 °C. En cuanto a la precipitación pluvial presenta un ciclo anual muy marcado, iniciando a mediados de mayo y finalizando en noviembre, siendo mayor durante los meses de junio y septiembre. El Pacífico Oriental donde se localiza el Golfo de Tehuantepec es la región con mayor actividad de generación de tormentas tropicales (TT) en el mundo, que se activa en la última semana de mayo, marcando el inicio de la temporada de lluvias (Thompson *et al.*, 1981). La trayectoria y origen de las TT están asociados directamente a las características térmicas del Golfo de Tehuantepec (Thompson *et al.*, 1981; Monreal-Gómez & Salas-de-León, 1998). Las TT nacen aproximadamente en la latitud de 15 grados norte alejándose en forma gradual de las costas de México, mientras que los formados de julio en adelante; de mayor potencia, por lo general describen una trayectoria de parábola, que por la forma del litoral del Pacífico mexicano, les hace viajar paralelos a ella, provocando que impacten en tierra en el noroeste del país. (Hernández-Unzón & González-Juárez, 2005).

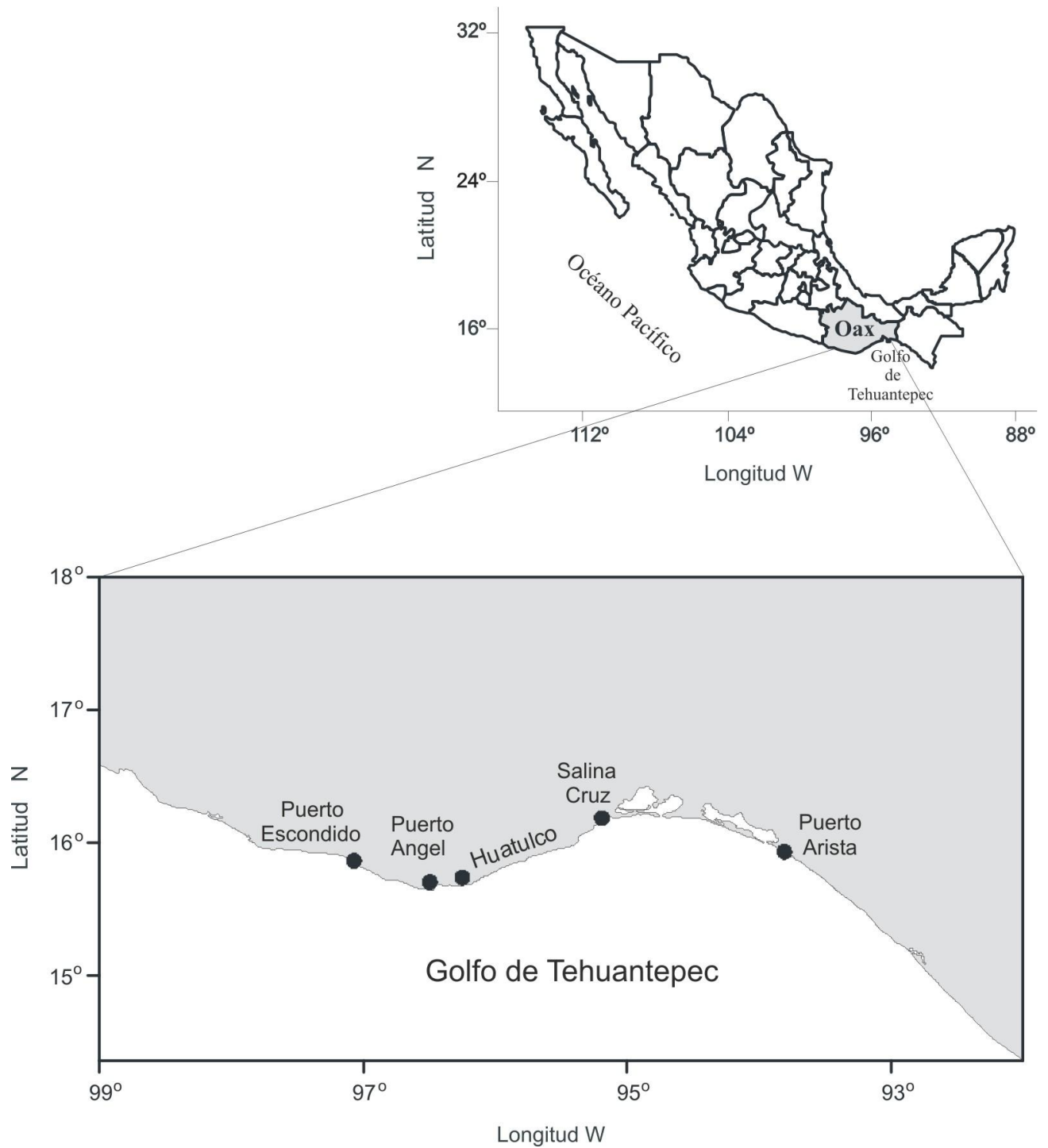


Figura 3. Área de estudio. Golfo de Tehuantepec, indicando las localidades en donde se captura incidentalmente *Istiophorus platypterus*.

El régimen de vientos está dominado la mayor parte del año por los provenientes del norte, siendo más notorios de octubre a abril con una velocidad promedio de 27 km/hora. También se presentan vientos del este, noroeste y oeste; estos últimos se presentan con mayor frecuencia durante los meses de primavera. Durante junio a agosto, los vientos son suaves viniendo del norte, noroeste y este; excepto cuando ocurren tormentas tropicales (Blackburn, 1962).

El patrón de circulación en el Pacífico Tropical Oriental es influenciado por los desplazamientos latitudinales del sistema de vientos Alisios y de la zona de Convergencia Intertropical. En invierno y primavera la Corriente de California llega al sur de los 15° N, donde además de alimentar la Corriente Ecuatorial entra al Golfo de Tehuantepec en las capas subsuperficiales pero solo en la parte oeste del golfo, donde se encuentra con agua producto de surgencias y forman un frente oceánico (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994). En verano y otoño la Convergencia Intertropical provoca que la corriente de Costa Rica la cual fluye hacia el noreste, a lo largo de la costa y entra al Golfo de Tehuantepec, a lo largo de las costas de Oaxaca y Chiapas. A menor escala, durante la época de nortes, los vientos generan fuertes corrientes superficiales y anomalías de temperatura superficial del océano, así como la formación de un giro anticiclónico (Monreal-Gómez & Salas-de-León, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la información

Los organismos de *Istiophorus platypterus* fueron muestreados de 2000 al 2008 en cuatro localidades del margen noroeste del Golfo de Tehuantepec (Fig. 3) a partir de las capturas procedentes de las flotas artesanal y deportiva del Golfo de Tehuantepec. Ambos tipos de pesquerías fueron complementarias para la obtención de información referente a la pesquería, para la evaluación reproductiva y para la estimación de edad y crecimiento.

En la zona, la actividad de la flota deportiva prácticamente se restringe a los torneos de pesca deportiva los cuales se organizan anualmente, uno por localidad. En el mes de mayo se organiza un torneo de pesca de *I. platypterus* en Huatulco; durante el mes de Julio en Salina Cruz y en el mes de noviembre en Puerto Escondido, Oaxaca. Las muestras de espinas y gónadas se obtuvieron principalmente a través de estos torneos. Solo a los organismos provenientes de esta pesquería fue posible registrar tanto el peso total (PT) con una precisión de 0.1 kg y la longitud ojo-furca (LOF) que fue medida al centímetro inferior, simultáneamente para cada organismo (Fig. 4). De esta actividad se obtuvieron 743 registros de LOF y 752 de PT (Tabla 1).

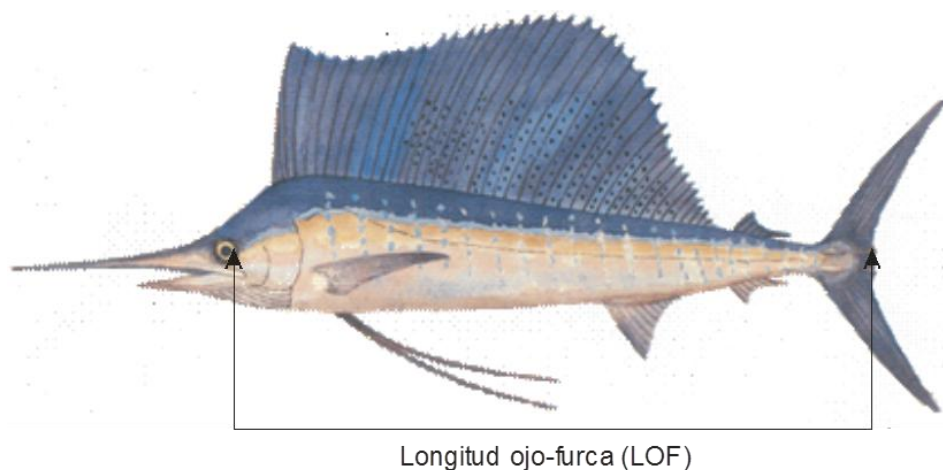


Figura 4. *Istiophorus platypterus*. Se indica la medida corporal registrada. Longitud ojo-furca (LOF), medida de la parte posterior del ojo a la furca de la aleta caudal.

Tabla 1. Estadística descriptiva del muestreo realizado en torneos de pesca deportiva de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec.

Pesca Deportiva														
Año	Peso Total (Kg)						Longitud ojo-Furca (cm)						Información del sexo	
	N	Media	Mínimo	Máximo	Dev.Std.	Err. Stan.	N	Media	Mínimo	Máximo	Dev.Std.	Err. Stan.	Hembras	Machos
2000	55	30.0	20.7	42.7	5.4	0.7	55	167.8	148.3	185.7	8.7	1.2	18	14
2001	87	30.5	18.6	42.2	5.1	0.5	87	165.1	99.4	187.2	13.9	1.5	30	21
2002	74	34.2	22.8	51.1	6.8	0.8	74	172.9	148.9	209.5	11.4	1.3	39	11
2003	96	32.6	20.6	62.0	7.3	0.7	91	172.4	143.5	224.9	15.0	1.6	24	14
2004	81	31.6	5.7	67.6	8.9	1.0	80	167.2	88.7	213.0	19.5	2.2	36	21
2005	74	30.4	9.4	48.1	7.1	0.8	71	165.7	106.0	197.0	14.7	1.7	36	23
2006	80	30.0	18.2	50.6	6.4	0.7	80	165.3	140.0	198.5	12.2	1.4	35	18
2007	87	32.9	15.5	53.1	6.9	0.7	87	172.9	143.0	217.0	10.9	1.2	56	27
2008	118	33.2	20.8	56.6	6.0	0.5	118	172.2	154.0	200.0	9.5	0.9	79	35

En Puerto Ángel, Oaxaca; existe actividad de pesca artesanal permanente de pelágicos mayores en la que es frecuente registrar capturas incidentales de *I. platypterus*. Las especies objetivo son estacionales, dependiendo de su accesibilidad a la flota artesanal. Entre las principales especies explotadas y en las que se registran capturas de *I. platypterus* se encuentran: *Euthynnus lineatus* (barrilete negro), *Thunnus albacares* (atún aleta amarilla) y *Carcharhinus falciformis* (tiburón sedoso). En la pesca artesanal se obtuvieron un total de 4233 registros de *Istiophorus platypterus* (Tabla 2). De cada organismo se registró la LOF y cuando fue posible, fue determinado el sexo por la observación directa de las gónadas y ocasionalmente se obtuvieron muestras de gónadas y espinas. El peso total de éstos organismos fue estimado a partir de la relación peso vs longitud, obtenida con los registros de la pesca deportiva.

Tabla 2. Estadística descriptiva del muestro realizado en la pesca artesanal de *Istiophorus platypterus* en Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec, México.

Pesca Artesanal								
Año	Longitud ojo-Furca (cm)						Información del sexo	
	N	Media	Mínimo	Máximo	Dev.Std.	Err. Stan.	Hembras	Machos
2000	60	182.4	123.8	208.8	14.0	1.8	5	5
2001	178	164.4	68.1	211.1	12.5	0.9	28	79
2002	64	160.3	131.5	186.0	10.4	1.3	15	19
2003	16	153.8	140.3	175.4	9.8	2.5	3	6
2004	84	161.6	142.0	190.4	10.0	1.1	14	46
2005	583	157.3	79.9	239.9	13.5	0.6	144	278
2006	1094	159.0	96.0	236.4	12.9	0.4	287	368
2007	611	154.7	55.8	197.3	15.7	0.6	149	203
2008	1543	157.8	103.5	221.5	10.5	0.3	486	447

Índice de abundancia relativa

La información analizada para la obtención del índice de abundancia relativa, proviene exclusivamente de las capturas de la flota artesanal con base en Puerto Ángel, Oaxaca. De junio de 2005 a diciembre de 2008 se realizaron muestreos mensuales en los que se registraron las capturas de la flota artesanal de Puerto Ángel. Las operaciones de captura se realizaron a bordo de embarcaciones tipo panga, de 10 metros de eslora y construidas de fibra de vidrio con motor fuera de borda, de 45 a 75 HP. En éstas embarcaciones participan de 2 a 4 pescadores. Las operaciones tienen una duración de 3 a 4 horas, iniciando a las 6 o 7 de la mañana en viajes diarios.

Para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se tomó como unidad de esfuerzo un viaje de pesca. La CPUE fue definida como el número de organismos capturado por viaje de pesca.

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^{\eta} c}{\sum_{i=1}^{\eta} f} \quad (1),$$

dónde :

CPUE = número de organismos capturados por viaje de pesca,

c = número de organismos,

f = número de viajes,

η = número de operaciones de pesca durante los días de muestreo,

Para describir la CPUE, se consideró que ésta presenta una distribución Δ (Pennington, 1996; Pennington & Stromme, 1998), es decir, contiene una proporción de valores cero y diferentes de cero con una distribución log normal. Dadas las propiedades de la distribución log normal, los estimadores insesgados con mínima varianza de la media (ω) y la varianza (ς) de la distribución Δ , están dados por (Pennington, 1996):

$$\omega = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(\bar{y}) g_m \left(s^2/2 \right), & m > 1 \\ \frac{x_\omega}{n}, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (2)$$

y

$$\varsigma = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ g_m(2s^2) - \left(\frac{m-1}{n-1} \right) g_m \left(\frac{m-2}{m-1} s^2 \right) \right\}, & m > 1 \\ \frac{x_\omega^2}{n}, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Donde n es el número de observaciones, m es el número de valores diferentes de cero, $y = \ln(x)$, $\bar{y}$ y s^2 son la media y la varianza de la muestra de datos diferentes de cero, x_ω representa a un valor único sin transformar cuando m es igual a uno y $g_m(t)$, es una función de m y de t ; definido por

$$g_m(t_i) = 1 + \frac{m-1}{m} t + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2j-1}}{m^j (m+1)(m+3) \dots (m+2j-3)} \times \frac{t^j}{j!} \quad (4)$$

y donde t es una variable que toma los valores de $t_1 = (s^2/2)$; $t_2 = (2s^2)$ y $t_3 = \left(\frac{m-2}{m-1} s^2 \right)$. El estimador insesgado de mínima varianza de la varianza de ω está dado por (Pennington, 1983; 1996)

$$var_{est}(\omega) = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ \frac{m}{n} g_m^2 \left(s^2/2 \right) - \left(\frac{m-1}{n-1} \right) g_m \left(\frac{m-2}{m-1} s^2 \right) \right\}, & m > 1 \\ \left(\frac{x_\omega}{n} \right)^2, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Estructura de tallas

Las longitudes de los organismos de *I. platyperus* capturados por la pesca artesanal y deportiva del Golfo de Tehuantepec se representaron en histogramas de frecuencias de longitud con intervalos de 5 cm. Para la descripción y análisis estadístico de las modas observadas se realizó a partir de la función de densidad multinomial (Hastings & Peacock, 1975):

$$P\{x_i|n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = n! \prod_{i=1}^k \frac{p_i^{x_i}}{x_i!} \quad (6)$$

Donde x_i es el número de veces que un evento tipo i ocurre en n número de muestras y p_i son las probabilidades o proporciones separadas de cada uno de los k eventos posibles. Para evitar problemas de desbordamiento y dado que el término factorial es constante, éste puede ser omitido al transformar la ecuación (6) en una expresión de verosimilitud quedando de la forma (Haddon, 2001):

$$-\ln L\{x_i|n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = -\sum_{i=1}^k [x_i \ln(p_i)] \quad (7)$$

Para generar las proporciones relativas esperadas de cada categoría de longitud (p_i) se asumió que cada media de longitud o moda puede ser analizada como una distribución normal, por lo que cada categoría de longitud (p_i) se describió a partir de la siguiente función de densidad:

$$p_i = p_{LOF_k} = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(LOF - \mu_{LOF})^2}{2\sigma_n^2}} \quad (8)$$

En esta expresión los parámetros μ_{LOF} y σ_{LOF} (parámetros a estimar) corresponden a las medias y las desviaciones estándar de la LOF de las n medias presentes en la distribución de longitudes de cada año analizado. Los parámetros del modelo fueron estimados cuando la función negativa del logaritmo de verosimilitud fue minimizada con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter *et al.*, 1996). La función objetivo a minimizar es expresada como (Haddon, 2001):

$$-\ln L\{L|\mu_{LOF}, \sigma_{LOF}\} = -\sum_{i=1}^k L_i \ln(\hat{p}_i) = -\sum_{i=1}^k L_i \ln\left(\frac{\hat{L}_i}{\sum \hat{L}_i}\right) \quad (9)$$

La variación de la talla promedio de la LOF, durante todo el periodo de estudio (2000-2008) se analizó mediante una prueba de varianza de una vía seguida, cuando ésta fue significativa, por una prueba a posteriori para comparación de media y en el caso de encontrar diferencias significativas se llevó a cabo la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Zar, 1999).

Relación talla vs peso

La relación talla vs peso, se obtuvo a través de un ajuste no lineal al modelo $PT = a \cdot LOF^b$ en donde PT es el peso total, LOF la longitud ojo-furca, a corresponde a la constante de regresión y b es el exponente que indica crecimiento isométrico cuando es igual a 3, crecimiento alométrico cuando es significativamente diferente de 3 (Esmaili & Ebrahimi, 2006; Aguirre *et al.*, 2008), estos dos últimos estimados a través del ajuste, minimizando la suma de cuadrados del error, mediante el algoritmo de búsqueda directa de Levenberg-Marquardt. Para determinar si el parámetro de alometría era igual o diferente de 3 se efectuó una prueba t de Student (Zar, 1999).

Evaluación reproductiva

Durante 2005 y 2008 fueron registrados un total de 2315 individuos y se obtuvieron 225 gónadas de hembras. Se extrajeron las gónadas in-situ y fueron pesadas con precisión de 1g, una submuestra de la región central del ovario de aproximadamente de 1 cm³ se fijó en solución de Davidson (Howard & Smith, 1983).

Análisis histológico

Las muestras fueron deshidratadas en una serie de alcoholes de menor a mayor concentración (70, 80, 90, y 100%) y aclaradas en xileno para ser embebidas en Paraplast®. Posteriormente se obtuvieron cortes de 4 µm los cuales se tiñeron consecutivamente con hematoxilina y eosina para su contraste (Humanson, 1979). La Hematoxilina por su naturaleza catiónica o básica, tiñe estructuras ácidas (basófilas) en tonos azul y púrpura, como por ejemplo los núcleos celulares; y el uso de eosina que tiñe componentes básicos (acidófilos) en tonos de color rosa, gracias a su naturaleza aniónica o ácida, como el citoplasma.

Las preparaciones histológicas fueron digitalizadas con una cámara digital Cool SNAP-Pro ajustado a un microscopio Olympus BX50 en conjunto con el programa Image Pro Plus (Media Cybernetics ver. 4.5) con ampliificaciones de 4x, 10x, 20x, 40x y 60x. Los estadios de desarrollo de todas las muestras de ovarios fueron identificados de acuerdo al criterio específico para la familia Istiophoridae propuesto por De Silva & Breder (1997) utilizando las imágenes digitalizadas. Asimismo, la descripción detallada de los ovocitos fue basada en el trabajo de Wallace & Selman (1981). Cada ovario fue clasificado de acuerdo al grupo de ovocitos más avanzado (GOMA) presentes en la muestra (West, 1990; Arocha & Bárríos, 2009). Sin vitelo/perinucleolar, vitelo temprano/previtelogénico, con vitelo/vitelogénico, núcleo migratorio o hidratado. Los folículos post-ovularios y atresias de ovocitos con vitelo/vitelogénicos fueron identificados y registrados como auxiliares para la determinación del estadio reproductivo de los individuos de *I. platypterus* (Arocha & Bárríos, 2009). Se usó como

criterio de designación de madurez de las hembras, a partir de aquellas que presentaron crecimiento secundario de los ovocitos; es decir ovocitos vitelogénicos en adelante.

Distribución del diámetro de los ovocitos

El área y diámetro de los ovocitos fue determinada con imágenes digitalizadas a una amplificación 4x. Aproximadamente 100 ovocitos fueron medidos de cada laminilla seleccionada al azar si el núcleo de la célula era visible. Los ovocitos de cada ovario, fueron medidos para estimar el área por estadio de desarrollo de cada ovocito. Debido a que los ovocitos cambian conforme éstos crecen y desarrollan, el diámetro de los ovocitos del set de datos fue estandarizado mediante la ecuación para el diámetro teórico (Briarty, 1975; Saout *et al.*, 1999):

$$TD = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (10)$$

Donde TD es el diámetro teórico y A es el área de los ovocitos.

La distribución de frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) en cada estadio de madurez, fue gráficamente representada como histogramas de frecuencia. Para la determinación estadística de las modas observadas en cada estadio de madurez, se realizó un análisis multimodal de acuerdo a la función (Hastings & Peacock, 1975):

$$P\{\emptyset_i | n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = n! \prod_{i=1}^k \frac{p_i^{\emptyset_i}}{\emptyset_i!} \quad (11)$$

Donde $\emptyset_i$ es el número de veces que un evento tipo i ocurre en n número de muestras, y p_i son las probabilidades separadas de cada uno de los k eventos posibles. Para estimar los parámetros del modelo es necesario transformar la ecuación (11) en una expresión de verosimilitud quedando de la forma (Haddon, 2001):

$$-\ln L\{\emptyset_i|n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = \sum_{i=1}^n [\emptyset_i \ln(p_i)] \quad (12)$$

El principal supuesto para la estimación de los parámetros es cada moda de la FDTO puede ser analizada como una distribución normal, determinando que cada moda corresponde a un diferente subestadio de los ovocitos. Bajo esta condición, la estimación de las proporciones relativas esperadas de cada moda son descritas a partir de la siguiente función de densidad (Haddon, 2001):

$$p_{\emptyset} = \frac{1}{\sigma_{\emptyset} \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(L_{\emptyset} - \mu_{\emptyset})^2}{2\sigma_{\emptyset}^2}} \quad (13)$$

Donde $\mu_{\emptyset}$ y $\sigma_{\emptyset}$ (parámetros a estimar) corresponden a las medias y las desviaciones estándar del diámetro de los ovocitos. Para estimar las frecuencias esperadas y los parámetros del modelo es necesario comparar los valores estimados y observados por medio de la función logarítmica de la distribución multimodal (Haddon, 2001; Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2006):

$$-\ln L\{L|\mu_{\emptyset}, \sigma_{\emptyset}\} = -\sum_{i=1}^n L_i \ln(\hat{p}_i) = -\sum_{i=1}^k L_i \ln\left(\frac{\hat{L}_i}{\sum \hat{L}_i}\right) \quad (14)$$

Donde $\mu_{\emptyset}$ y $\sigma_{\emptyset}$ son las medias y las desviaciones estándar del diámetro de los ovocitos que corresponden a las n medias presentes en los histogramas de frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) de cada estadio de madurez. Los parámetros del modelo fueron estimados cuando la función del logaritmo negativo de verosimilitud fue minimizada con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter *et al.*, 1996).

La variación del diámetro de los ovocitos, se analizó mediante una prueba de varianza de una vía ($P = 0.05$) (Zar, 1999).

Proporción de sexos e índice gonadosomático

La proporción de sexos de *I. platypterus* fue analizada trimestralmente combinando la información de los años 2005 y 2008. La proporción fue calculada como el número de hembras dividida por la suma de hembras y machos presentes en la muestra en intervalos de 5 cm de LOF (Arocha *et al.*, 2010). La proporción de sexos durante cada trimestre fue comparada utilizando una prueba χ^2 ($P = 0.05$) (Zar, 1999; Chiang *et al.*, 2006). La proporción de hembras fue ajustada utilizando una regresión no paramétrica ponderada localmente (Arocha & Bárríos, 2009; Arocha *et al.*, 1999; 2010). Esta regresión específicamente se refiere a un método también es conocido como regresión polinomial ponderada localmente. Con ésta técnica, en cada punto de los datos, es ajustado un polinomio de grado bajo a un subgrupo de los datos, cuyo valor de la variable dependiente está cerca del punto al cual se está estimando su valor. El polinomio es ajustado utilizando mínimos cuadrados ponderados, dando más peso a los puntos que se encuentran más cerca del punto al cual se está estimando su respuesta y menos peso a los que están alejados de él. El valor de la función de regresión para el punto, es obtenido al evaluar el polinomio local, utilizando el valor de la variable independiente para ese punto (Cleveland, 1979; Cleveland & Devlin, 1988). La función de suavización (λ) también llamada parámetro de suavización, controla la flexibilidad de la función de regresión. Valores altos de λ producen una función muy suave que se ondula lo mínimo como respuesta a la fluctuación en los datos. Valores pequeños de λ producen una función de regresión que sigue muy de cerca a los datos (Cleveland & Devlin, 1988). En éste caso se utilizó un parámetro de suavización con valor de 7 ($\lambda = 7$).

La temporada reproductiva fue analizada calculando el promedio mensual del índice gonadosomático (IGS) de acuerdo a:

$$GSI = \left(\frac{m_g}{LOF^b} \right) \times 10^4 \quad (15),$$

donde m_g es el peso de la gónada en gramos (Arocha & Bárríos, 2009) y b el parámetro de alometría estimado de la relación talla vs peso.

Longitud de primera madurez

La longitud de primera madurez (LM), definida como la longitud ojo-furca a la cual al menos 50% de las hembras de *I. platypterus* se encuentran en la fase de maduración de su desarrollo gonádico (Hunter & Macewicz, 2003), fue estimada mediante el uso de un modelo logístico de dos parámetros de la forma:

$$p_i = \frac{1}{1 + \exp^{(L_i - LM) / \varphi}} \quad (16)$$

Donde p_i es la proporción de hembras maduras en la clase de talla i , muestreada durante la época reproductiva de mayo a septiembre durante 2005 y 2008 (Hernández & Ramírez 1998). L_i es la LOF de la clase de talla i , LM es la LOF a la cual el 50% de las hembras de *I. platypterus* están sexualmente maduras y φ es la tasa de cambio en talla, del estado de no reproductivo a reproductivo (Fontoura et al., 2009).

La estimación de p_i se resolvió asumiendo una distribución binomial de los datos; se asignaron las categorías de madura o inmadura de acuerdo con el análisis histológico. En consecuencia la proporción observada de hembras maduras fue definida como p_o establecida como la proporción de hembras maduras en la clase de talla i y estimada como $p_o = \frac{m_i}{n_i}$; donde m_i es el número de hembras maduras en la clase de talla i , n_i el tamaño de muestra en la clase de talla i .

La función objetivo para estimar p_i fue definida de acuerdo con Brouwer & Griffits (2005) como sigue:

$$-\ln(LM, \phi | data) = -\sum_{i=1}^n \left[m_i \times \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) + n_i \times \ln(1-p_i) + \lambda \right] \quad (17)$$

La cantidad $\lambda = \ln\left(\frac{n_i}{m_i}\right)$, es definida como el coeficiente binomial, y es calculado como

$$\lambda = \frac{n_i!}{m_i! \times (n_i - m_i)!} \quad (\text{Welch \& Foucher, 1988}).$$

Los parámetros λ y β en el modelo logístico (16) fueron estimados al minimizar el logaritmo negativo de verosimilitud por medio del algoritmo de Newton (Neter *et al.*, 1996).

$$-L = -\sum_{i=1}^n \left[m_i \times \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) + n_i \times \ln(1-p_i) + \ln\left(\frac{n_i}{m_i}\right) \right] \quad (18)$$

Donde n_i es el tamaño de muestra de la clase de talla i y m_i es el número de peces maduros en la clase de talla i .

Intervalos de confianza

Para estimar los intervalos de confianza (IC) de los parámetros de la ecuación 16, se utilizaron los perfiles de verosimilitud (Hilborn & Mangel 1997; Venzon & Moolgavkar, 1988) ya que estos pueden ser utilizados para determinarlos ya sea de manera conjunta o individual. Los intervalos de confianza para los θ parámetros fueron estimados basados en la distribución χ^2 con m grados de libertad (Zar, 1999). Para un parámetro individual p , el intervalo de confianza fue definido como todos los valores que satisfacen la desigualdad (Polacheck *et al.*, 1993; Haddon, 2001):

$$2[L(Y|p) - L(Y|p_{est})] \leq \chi^2_{1,1-\alpha} \quad (19)$$

donde $L(Y|p_{est})$ es el logaritmo negativo de verosimilitud del valor mas verosimil de p y $\chi^2_{1,1-\alpha}$ es el valor de la distribución de χ^2 con un grado de libertad y un nivel de confianza de $1-\alpha$. De tal forma que los intervalos al 95% de confianza contiene a todos los valores alternativos de p que producen un valor del logaritmo negativo de verosimilitud igual al mínimo valor del logaritmo negativo de verosimilitud $L(Y|p_{est})$ menos la mitad del valor requerido de χ^2 (3.84/2), cuyo estimador es (Haddon, 2001).

$$L(Y|\theta) = L(Y|\theta_{best}) - \frac{\chi^2_{1,1-\alpha}}{2} \quad (20).$$

El valor de 3.84 es obtenido de tablas estadísticas de la distribución de χ^2 (Zar, 1999).

Edad y Crecimiento

Las muestras provienen tanto de la pesca artesanal como deportiva del Golfo de Tehuantepec. Durante los años 2000 a 2008 se recolectó la cuarta espina (primera espina radiada) de la aleta dorsal de 535 organismos de *I. platypterus*. Se utilizó esta estructura dura ya que las estimaciones de edad a partir de ellas son precisas, son fáciles de recolectarlas y procesarlas en comparación con los otolitos (Hill *et al.*, 1989). Adicionalmente estas estructuras han sido utilizadas satisfactoriamente para la determinación de la edad de especies como el pez espada *Xiphias gladius* (Ehrhardt, 1992; Tserpes & Tsimenides, 1995), pez vela *Istiophorus platypterus* (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996; Chiang *et al.*, 2004), y marlín negro *Makaira indica* (Speare, 2003). Las espinas fueron cortadas para obtener una sección transversal de aproximadamente 0.4 mm de espesor. Los cortes se realizaron en un segmento a lo largo del cuerpo de la espina, localizado a una altura igual a la mitad de lo que midió la distancia entre las apófisis superiores, que es la sección más ancha de la base de la espina (Fig. 5). Los cortes se realizaron con la ayuda de una cortadora Buehler Isomet® de baja velocidad y cuchilla con filo de diamante.

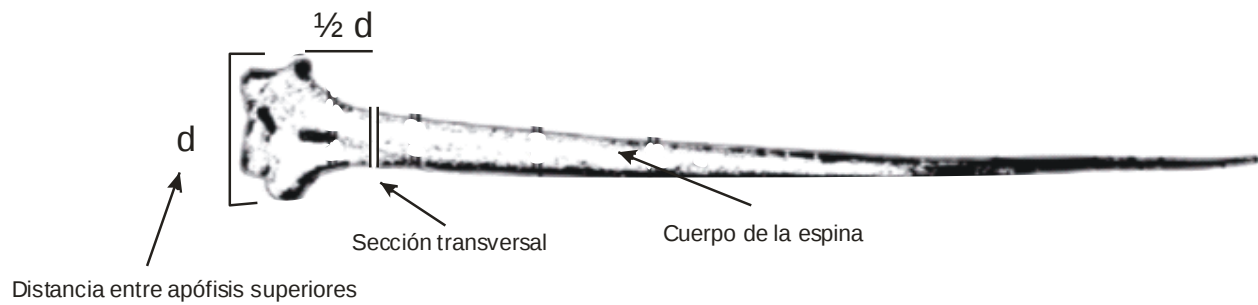


Figura 5. Esquema de la cuarta espina de *Istiophorus platypterus*. Distancia entre apófisis superiores (d), ubicación del corte a una distancia de un medio de d .

Las secciones obtenidas fueron sumergidas en agua dentro de una caja petri como medio para incrementar el contraste entre las bandas claras y oscuras, y fueron observadas utilizando un estereoscopio binocular Carl Zeiss® bajo luz transmitida. Los annuli fueron contados basándose en el reconocimiento de un par de bandas de crecimiento una opaca y una translúcida (Fig. 6).

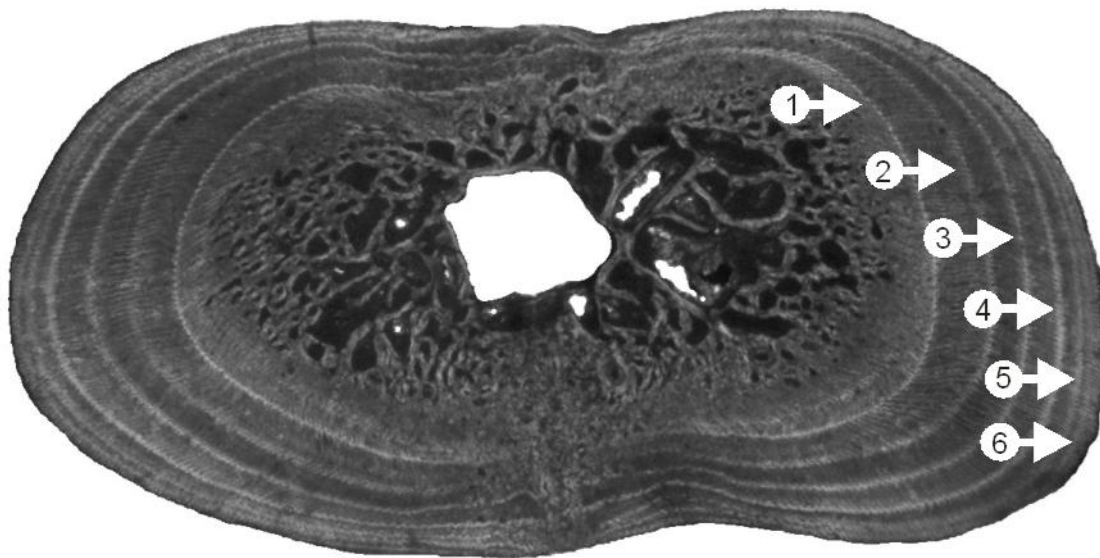


Figura 6. Sección transversal de la cuarta espina de *Istiophorus platypterus*. Se muestran las bandas translúcidas (flechas) y bandas opacas.

Periodicidad de los incrementos

La proporción del incremento marginal (IM) se utilizó para validar la periodicidad de los incrementos de crecimiento en las espinas (Chiang *et al.*, 2004). La ecuación utilizada fue:

$$IM = \frac{(R_T - R_n)}{R_n - R_{n-1}} \quad (24),$$

donde R_T = es el radio total de la espina, R_n = el radio al anillo n, y R_{n-1} = radio del anillo n-1. Se estimó el promedio mensual del IM y su error estándar. Cuando el IM presentó los valores más pequeños se consideró como el periodo de formación de un par de bandas de crecimiento.

La asignación directa de edad fue basada en el conteo de los annuli. Un periodo anual para *I. platypterus* fue contado cuando se observó un par de bandas (una opaca y una translúcida) de acuerdo a Jolley (1977), Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996) y Chiang *et al.* (2004). En el Golfo de California (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1996) y en Taiwan (Chiang *et al.*, 2004) se reportó que la presencia de una banda opaca y una translúcida corresponden a un año de edad.

La lectura de cada corte se realizó por dos lectores en tres ocasiones con un periodo mínimo de quince días entre lecturas, para evitar subjetividad y obtener interpretaciones independientes; realizando lecturas adicionales cuando los conteos no fueron coincidentes (Santamaría *et al.*, 2009). La precisión de las lecturas fue evaluada a través del coeficiente de variación propuesto por Chang (1982), como muestra la siguiente ecuación:

$$CV_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R (X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j} \times 100\% \quad (21)$$

Donde CV_j es el coeficiente de variación para el j-ésimo pez; R el número de veces que se determinó la edad a cada pez; X_{ij} la i-ésima lectura del j-ésimo pez y $\bar{X}_j$ el promedio de marcas del j-ésimo pez. El valor de la ecuación 21 de todos los peces se promedió para obtener el CV promedio de las lecturas.

Retro-cálculo de longitudes a edades tempranas

Cada uno de los cortes transversales de las espinas se digitalizó con la ayuda de un software para el análisis de imágenes (Image-Pro) y se calibraron contra un micrómetro óptico. Se midió el radio total (R_T), definido como la distancia en milímetros que existe entre el núcleo de la espina y el borde externo de esta, y los radios parciales (R_i), definidos como la distancia del núcleo a cada anillo de crecimiento, considerando el borde de la zona translúcida (Kopf *et al.*, 2010) (Fig. 6).

Se seleccionaron los individuos más jóvenes que presentaron al menos los primeros 4 anillos visibles y se estimó el radio promedio a cada anillo de crecimiento así como los intervalos de confianza de éstos. Estas estimaciones se utilizaron para corregir las lecturas directas de edad de individuos de mayor edad en la muestra (Hill *et al.*, 1989), ya que el núcleo de la espina es reabsorbido en los individuos más viejos y los primeros anillos de crecimiento desaparecen conforme el radio de la espina incrementa su longitud. Es decir, los primeros anillos de crecimiento se pierden debido al crecimiento de la zona vascularizada del centro de la espina (Drew *et al.*, 2006), para evitar una subestimación de la edad de los peces más viejos, se realizó la corrección al comparar los valores del radio a la primera marca de los organismos de mayor edad, y en aquellas donde fuera mayor a la media y al intervalo de confianza del 95% estimado en los más jóvenes, se sumaron las marcas faltantes (Hill *et al.*, 1989; Freire *et al.*, 1998). Considerar el proceso de vascularización es necesario para estimar los anillos perdidos en las espinas de los organismos más grandes y estimar la edad correcta de éstos (Drew *et al.*, 2006).

El retrocálculo nos permite inferir la talla a edades tempranas de cada uno de los peces (Francis, 1990). Dos aproximaciones se realizaron en el presente trabajo. En la primera se consideró que la relación entre la LOF al momento de la captura y el R_T es de tipo lineal, y la función de retro-cálculo es (Fraser, 1916; Lee, 1920):

$$L_i = g + (L_c - g) \times \left(\frac{R_i}{R_T} \right) \quad (22),$$

donde L_i = LOF a la edad i , L_c = LOF al momento de la captura, R_i = radio de la espina a la edad i , R_T = radio total, y g la longitud de intersección de la línea de regresión $L_c = g + d \times R_T$.

Para la segunda aproximación se asumió que la relación entre L_c y R_T es no lineal, $L_c = h \times R_T^\xi$, es así que la función de retro-cálculo es de acuerdo a Monastyrsky (Bagenal & Tesch, 1978):

$$L_i = \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^\xi \times L_c \quad (23).$$

Para determinar que ecuación describe mejor la relación entre la LOF a la captura (L_c) y el radio de la espina (R_T) se utilizó el criterio del coeficiente de regresión r^2 .

Función de crecimiento

Generalmente la estimación de crecimiento en los picudos se ha realizado a través del modelo de von Bertalanffy. Esta práctica se debe principalmente a la forma de la curva que se obtiene y por los supuestos biológicos en que se basa este modelo. Sin embargo, se ha observado en algunos casos la sobrestimación de la tasa de crecimiento que a su vez sobrestiman la talla de las primeras edades (Ehrhardt, 1992;

Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1998). Este hecho hace necesario el explorar otros enfoques que permitan una mejor descripción del crecimiento de *I. platypterus*.

La relación talla a la edad fue ajustada al modelo de crecimiento de von Bertalanffy (1938):

$$L(t) = L_{\infty}(1 - \exp^{-k(t-t_0)}) \quad (25),$$

donde L_{∞} representa la LOF asintótica de *I. platypterus*, t la edad (años), t_0 representa la edad hipotética a la talla 0, y k es el coeficiente de crecimiento de Brody (Ricker 1975; Chiang *et al.*, 2004).

El muestreo de la distribución de tallas y estructura de edades de la población de *I. platypterus* usualmente se encuentra desviada. Esta situación es comúnmente observada debido a que los datos son obtenidos de la pesca deportiva, donde las capturas reportan a los individuos más grandes. Consecuencia de ello, el modelo de crecimiento de von Bertalanffy es difícil de ajustar. Una alternativa a esta situación es el modelo de crecimiento propuesto por Schnute (1981). Este modelo, es un modelo de crecimiento generalizado y los parámetros del modelo pueden ser estimados aún en ausencia o escasos de datos de organismos jóvenes o muy viejos dentro de la muestra. El modelo es:

$$Y(t) = \left[\iota^{\rho} + (\delta^{\rho} - \iota^{\rho}) \frac{1 - e^{-\lambda(t-t_1)}}{1 - e^{-\lambda(t_2-t_1)}} \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (26),$$

donde ι y δ son las tallas al tiempo t_1 y t_2 ; correspondiendo en este caso al organismo más joven (ι) y al más viejo (δ) observado en la muestra; λ es la constante de crecimiento relativo (equivalente a k en el modelo de von Bertalanffy) y ρ la tasa de crecimiento relativo. Los parámetros a estimar son ι , δ , λ y ρ .

Se asumió un error multiplicativo en las estimaciones de $L(t)$ y la expresión es $\hat{L} = L(t)\exp^{\varepsilon_i}$, donde $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$. Los θ parámetros en el modelo de von Bertalanffy fueron L_∞ , t_0 , and k (ec. 25). Los θ parámetros en el modelo de Schnute (1981) fueron ι , δ , λ y ρ (ec. 26). Los θ parámetros fueron estimados al minimizar la función objetivo del logaritmo negativo de verosimilitud (Hilborn & Mangel, 1997):

$$-\ln L(\theta|data) = \sum_i \left[-\frac{1}{2} \ln(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} \ln(\sigma^2) - \left(\frac{\ln L(t) - \ln \hat{L}(t)^2}{2\sigma^2} \right) \right] \quad (27).$$

Los θ parámetros fueron estimados cuando el logaritmo negativo de verosimilitud fue minimizado con el algoritmo de Newton (Neter *et al.*, 1996). La desviación estándar observada (σ) se estimó a partir de la muestra, como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [\ln L(t) - \ln \hat{L}(t)]^2} \quad (28)$$

Donde n representa el número de edades observadas en las muestras de *I. platypterus*.

Para el caso del modelo generalizado de crecimiento de Schnute, cuando los parámetros ι , δ , λ y ρ , fueron estimados, la estimación de L_∞ y t_0 (definidos por Schnute como Y_∞ y τ_0) fueron calculados con los siguientes estimadores (Schnute, 1981):

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\exp^{\lambda \tau_2} \delta^\rho - \exp^{\lambda \tau_1} \iota^\rho}{\delta^\rho - \iota^\rho} \right] \quad (29)$$

$$Y_\infty = \left[\frac{\exp^{\lambda \tau_2} \delta^\rho - \exp^{\lambda \tau_1} \iota^\rho}{\delta^\rho - \iota^\rho} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (30)$$

Las soluciones de las ecuaciones 29 y 30 asumen que $\lambda \neq 0$ y $\rho \neq 0$ (Schnute, 1981).

Intervalos de confianza

Para estimar los IC de cada uno de los parámetros de los modelos de crecimiento (25 y 26), se utilizaron los perfiles de verosimilitud (Hilborn & Mangel, 1997; Venzon & Moolgavkar, 1988), de acuerdo a la metodología anteriormente descrita, en las ecuaciones 19 y 20. En el caso de considerar más de dos parámetros, los intervalos de confianza son más amplios. Esto ocurre cuando se presenta alguna correlación (covarianza) entre los parámetros. Al considerar el intervalo de confianza de manera conjunta se evita el riesgo de sesgo que ocurriría si se hace de manera individual. Welch & McFarlane (1990) comentan que los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy están correlacionados y una solución alternativa es la estimación de regiones de confianza a partir de contornos del valor del logaritmo de verosimilitud constante. Este procedimiento fue aplicado a los parámetros L_{∞} y k de manera conjunta para evitar así el problema de correlación entre estos parámetros. En este caso la ecuación 19 debe satisfacer la desigualdad asociada a la distribución de χ^2 con 2 grados de libertad, donde el valor de referencia es menor a 5.99 para dos parámetros (Haddon, 2001; Pawitan, 2001). El valor de 5.99 es obtenido de tablas estadísticas de la distribución de χ^2 (Zar, 1999).

Elección del modelo candidato

Para escoger entre los modelos candidatos de crecimiento con un diferente número de parámetros, se efectuó la comparación del desempeño entre los modelos candidatos bajo el criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike, 1973). El AIC de los modelos de crecimiento de von Bertalanffy y Schnute se estimó como:

$$AIC = (2 * -\ln L) + (2 * \theta) \quad (31)$$

Donde $-\ln L$ es el valor del logaritmo negativo de verosimilitud estimado en la ecuación 27 y θ representa el número de parámetros en cada modelo. El menor valor de AIC es el mejor modelo (Haddon, 2001; Chiang *et al.*, 2004).

Evaluación del recurso basado en la captura a la talla

La evaluación de un recurso tiene como finalidad el contar con una estimación cuantitativa del mismo (estado de la naturaleza) y es una forma de medir el impacto de diversos patrones de explotación. Recientemente se han desarrollado algoritmos muy poderosos para la evaluación de recursos con el análisis de información de captura por grupo de edad (Deriso *et al.*, 1985). Sin embargo, estos asumen que la producción de una cohorte durante su tiempo de vida explotable es igual para todas las cohortes presentes en la pesquería en cualquier año, por lo que se requiere el contar con información histórica de al menos una cohorte (Megrey & Wespestad, 1988). Información histórica de la flota artesanal sobre captura y su composición por edad es escasa en el Golfo de Tehuantepec. Esta carencia impide la evaluación del recurso mediante el uso de herramientas como los modelos estructurados por edad.

Sin embargo, para la evaluación de la dinámica del recurso, se utilizó el método propuesto por Sullivan *et al.*, (1990), el cual describe la explotación y crecimiento de los individuos en la población en términos de longitud. Los datos de captura se encuentran en forma de serie de tiempo de la estructura de tallas e incorpora crecimiento estocástico al describir este proceso basado en la probabilidad de que los individuos se muevan de una categoría de longitud a otra. Calcula la selectividad como una función de la longitud de los peces en la muestra y las unidades de intervalo de tiempo dentro del modelo (Δt) pueden ser expresadas en incrementos de tiempo en los cuales fueron hechas las observaciones (años, meses, semanas, etc.). La salida consiste de un conjunto de estimaciones de abundancia y reclutamiento en longitud en tiempos específicos, mortalidad por pesca en el tiempo, selectividad del arte de pesca y tasa de explotación.

Estimación de la captura a la talla

De acuerdo con Sullivan *et al.* (1990) la captura ($C_{l,t}$) para una clase de talla l ($l = 1, \dots, n, \dots$) y tiempo t ($t = 1, \dots, t_{max}$) dado, está relacionado al número de individuos en la población ($N_{l,t}$) en esa clase de talla y tiempo a través de una tasa de explotación basada en talla ($\mu_{l,t}$). La forma general de la ecuación de captura de Baranov (Baranov, 1918; Ricker, 1975) está entonces, indizada en términos de tiempo t y clase de talla l :

$$C'_{l,t} = \mu_{l,t} N_{l,t} \quad (32)$$

Donde la tasa de explotación $\mu_{l,t}$ representa la proporción de individuos de la clase de talla l y tiempo t que mueren debido a la mortalidad por pesca. Así, la tasa de explotación es entonces dependiente de la tasa de mortalidad por pesca $F_{l,t}$ y de la tasa de mortalidad total $Z_{l,t}$ de los peces de la clase de talla l en el tiempo t a través de la relación:

$$\mu_{l,t} = \frac{F_{l,t}}{Z_{l,t}} (1 - e^{-Z_{l,t}}) \quad (33)$$

Donde $F_{l,t}$ y $Z_{l,t}$ están en unidades de $1/\Delta t$. El modelo puede estar en intervalos de tiempo diferentes al anual.

La mortalidad por pesca es una función del esfuerzo de pesca y de la selectividad del arte de pesca. Se asume que la mortalidad por pesca es separable, como el producto de coeficientes de selectividad específicos para cada clase de talla s_l y una tasa de mortalidad por pesca de los organismos totalmente reclutados f_t en el tiempo t , de acuerdo a la propuesta de Doubleday (1976) pero en términos de talla l :

$$F_{l,t} = s_l f_t \quad (34)$$

Para el caso del coeficiente de selectividad específico para cada clase de talla s_l , éste es interpretado como la fracción de peces de la clase de talla l expuesto al efecto total de la mortalidad por pesca y está representado por una función logística (Hampton *et al.*, 2004):

$$s_l = \frac{1}{1 + \alpha_s e^{-\beta_s l}} \quad (35)$$

Donde s_l puede tomar valores de hasta 1.

La mortalidad total instantánea de los organismos en la clase de talla l en el tiempo t es la suma de la mortalidad por pesca más la mortalidad natural:

$$\begin{aligned} Z_{l,t} &= F_{l,t} + M_{l,t} \quad (36) \\ &= s_l f_t + M_{l,t} \end{aligned}$$

La relación entre el número de individuos ($N_{l,t}$) en el tiempo t y el número ($N_{l,t'}$) presente en un tiempo t' posterior, está descrito en términos del número de peces de la talla que sobrevivieron y crecieron al siguiente periodo de tiempo. Si el crecimiento de los peces en la clase de talla l es insignificante al inicio del tiempo t , entonces el número total de peces de la clase de talla l que sobreviven al inicio del periodo de tiempo t' es reducido solo por la mortalidad:

$$N_{l,t'} = N_{l,t} e^{-Z_{l,t}} \quad (37)$$

Para cada clase de talla l ($l=1, \dots, n$).

Para el crecimiento se incorpora un modelo que combina la variabilidad inherente que se observa en el crecimiento individual y la tendencia general no lineal observada en la población. El crecimiento es representado por la proporción $P_{l,t'}$ de los organismos que

sobreviven en la clase de talla l durante un intervalo de tiempo fijo. Se asume que la proporción $P_{l,l'}$ de los individuos que crecen de una clase de talla l a todas las clases de talla l' ($l'=l, \dots, n$) están representadas por una función de distribución de probabilidad que puede ser parametrizada por su media y varianza. La media representa el incremento en crecimiento promedio el cual puede ser descrito por medio de cualquier modelo de crecimiento determinístico estándar. La varianza representa la variabilidad individual del crecimiento. La combinación de estos dos parámetros (media y varianza) determinan la proporción de los individuos que van de una clase de talla a otra.

Basados en el modelo de crecimiento de von Bertalanffy:

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (24)$$

El incremento en crecimiento Δ_t durante una unidad de intervalo de tiempo $(t, t+1)$ para un pez que inicia su crecimiento en una clase de talla l en el tiempo t con una longitud L_t puede describirse como:

$$\Delta_t = L_{t+1} - L_t \quad (38)$$

Este incremento puede variar de individuo a individuo. Fijando L_t en la longitud media l^* de la clase de talla l , Δ_t representa el cambio en longitud de un individuo inicialmente en la clase de longitud l . El incremento en crecimiento promedio para los individuos en la clase de talla l , es el cambio promedio en longitud de los individuos inicialmente en la clase de longitud l :

$$\bar{\Delta}_l = (L_\infty - l^*)(1 - e^{-k}) \quad (39)$$

Esta expresión es independiente de t_0 .

Se utilizó una distribución gamma para representar la variación en crecimiento descrito anteriormente por su versatilidad y flexibilidad. La distribución gamma expresada en términos de α_Δ y β_Δ (Hogg & Craig, 1970) es:

$$g(v|\alpha_\Delta, \beta_\Delta) = \frac{1}{\beta_\Delta^{\alpha_\Delta} \Gamma(\alpha_\Delta)} v^{\alpha_\Delta-1} e^{-v/\beta_\Delta} \quad (40)$$

Donde v representa Δ_l (el incremento en crecimiento, de un pez que estuvo originalmente en la clase de talla l). La media del cambio en longitud está dado por $\bar{\Delta}_l = \alpha_\Delta \beta_\Delta$ y la varianza está dada por $\sigma_\Delta^2 = \alpha_\Delta \beta_\Delta^2 = \beta_\Delta \bar{\Delta}_l$ el cual es proporcional a la media. En esta expresión, β_Δ también es el coeficiente de variación el cual es usado para incorporar la variabilidad del crecimiento de los individuos en la población. Dado l^* y β_Δ , los parámetros α_Δ y consecuentemente σ_Δ^2 y $\bar{\Delta}_l$ están en función de los parámetros L_∞ y k del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

En un año de transición, los individuos de una clase de talla pueden quedarse en la misma clase de talla o trascender a otra clase de talla más grande debido al crecimiento. Para representar esta transición de crecimiento, las capturas observadas se clasificaron en clases de tallas y el crecimiento de los organismos en una clase de talla por decir l , donde la longitud de estos individuos puede encontrarse en un intervalo de tallas de l_1 a l_2 y es aproximado por el crecimiento de una talla media individual ($l^* = (l_1 + l_2)/2$) de la clase. La proporción esperada de individuos que crecen y pasan de una clase de talla l a la clase l' puede ser calculada al integrar sobre todo el intervalo de talla (l'_1, l'_2) de la clase de talla receptora l' al comienzo del siguiente periodo de tiempo t' :

$$P_{l,l'} = \int_{l'_1}^{l'_2} g(v|\alpha_\Delta, \beta_\Delta) dx \quad (41)$$

Cualquier pez que entre en una clase de talla con una talla media mayor que L_∞ permanecerá en la misma clase de talla (i.e. $P_{l',l'} = 1$ para $l' \geq L_\infty$).

Entonces el número total de individuos $N_{l',t'}$ de la clase de talla l' al inicio del siguiente periodo de tiempo t' se calcula a partir de (Quinn & Deriso, 1999):

$$N_{l',t'} = \sum_l P_{l,l'} N_{l,t} e^{-Z_{l,t}} \quad (42)$$

Para terminar con la descripción de la dinámica, se incorpora el reclutamiento a la pesquería dentro de la ecuación anterior:

$$N_{l',t'} = \sum_l P_{l,l'} N_{l,t} e^{-Z_{l,t}} + R_{l',t'} \quad (43)$$

Donde el reclutamiento a la pesquería puede ocurrir sobre un intervalo de clases de talla. El reclutamiento expresando de esta manera representa el tipo de reclutamiento observado en la naturaleza, donde la variación en crecimiento, el comportamiento, o el suministro de alimento puede resultar en individuos que entran al núcleo principal de la población en varias tallas.

El reclutamiento es separado en una variable dependiente del tiempo R_t y una variable dependiente de la talla p_l , que representa la proporción de reclutas que irán a cada clase de talla:

$$R_{l,t} = R_t p_l \quad (44)$$

Hasta aquí se han presentado los modelos que describen una transición lineal del número de individuos en la clase de talla l en el tiempo t al número de individuos en la clase de talla l' en el tiempo t' . Estos modelos también pueden ser escritos en una notación matricial:

$$\begin{bmatrix} N_{1,t'} \\ N_{2,t'} \\ \vdots \\ N_{l',t'} \\ \vdots \\ N_{n,t'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & 0 & & 0 \\ P_{1,2} & P_{2,2} & & \\ \vdots & \vdots & * & \\ & & P_{l,l} & \\ & & & * & 0 \\ P_{1,n} & P_{2,n} & & P_{n-1,n} & P_{n,n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_{1,t} & 0 & & 0 \\ 0 & S_{2,t} & & \\ & & * & \\ & & S_{l,l} & \\ & & & * & 0 \\ 0 & & & 0 & S_{n,t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ \vdots \\ N_{n,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{1,t} \\ R_{2,t} \\ \vdots \\ R_{n,t} \end{bmatrix} \quad (45)$$

Donde $S_{l,t}$ representa la sobrevivencia exponencial $e^{-Z_{l,t}}$. De igual manera la ecuación de captura puede ser expresada de forma matricial:

$$\begin{bmatrix} C_{1,t} \\ C_{2,t} \\ \vdots \\ C_{l',t} \\ \vdots \\ C_{n,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{1,t} & 0 & & 0 \\ 0 & \mu_{2,t} & & \\ & & * & \\ & & \mu_{l,t} & \\ & & & * & 0 \\ 0 & & & 0 & \mu_{n,t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ \vdots \\ N_{n,t} \end{bmatrix} \quad (46)$$

Finalmente los parámetros del modelo pueden ser estimados utilizando una aproximación que minimice los residuos cuadrados de la función objetivo:

$$RSS_{captura} = \sum_{l,t} (C'_{l,t} - C_{l,t})^2 \quad (47)$$

Donde $C'_{l,t}$ es la captura a la talla estimada y $C_{l,t}$ es la captura a la talla observada en el tiempo t . Los datos observados, son las capturas en número de organismos por clases de talla específicas, tomadas a intervalos de tiempo iguales.

Los parámetros estimados son: selectividad por intervalo de talla, mortalidad por pesca de los organismos completamente reclutados f_t , el número de organismos iniciales en cada clase de talla $N_{l,0}$ ($l=1, \dots, n$); reclutamiento a la pesquería R_t durante el tiempo $t=1, \dots, t_{max}$; y la tasa de explotación por intervalo de talla $\mu_{l,t}$. Los parámetros fueron obtenidos al minimizar los residuos cuadrados (ec. 47) por medio del algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter *et al.*, 1996; Sullivan *et al.*, 1990).

RESULTADOS

Índice de abundancia relativa

Durante los años 2005 al 2008 se recopiló información mensual de captura en número de individuos y número de viajes para la estimación de la CPUE de la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca. La serie de tiempo del índice de abundancia relativa estimado de *Istiophorus platypterus* se muestra en la figura 7. La CPUE promedio más alta se registró en el mes de julio del año 2007 (2.7 individuos/viaje) y la más baja en el mes de diciembre del 2008 (0.01 individuos/viaje). Se observó una tendencia estacional de la abundancia relativa de *I. platypterus* con los valores más bajos durante los primeros meses del año e incrementando la abundancia relativa hacia los meses de verano volviendo a decaer hacia diciembre.

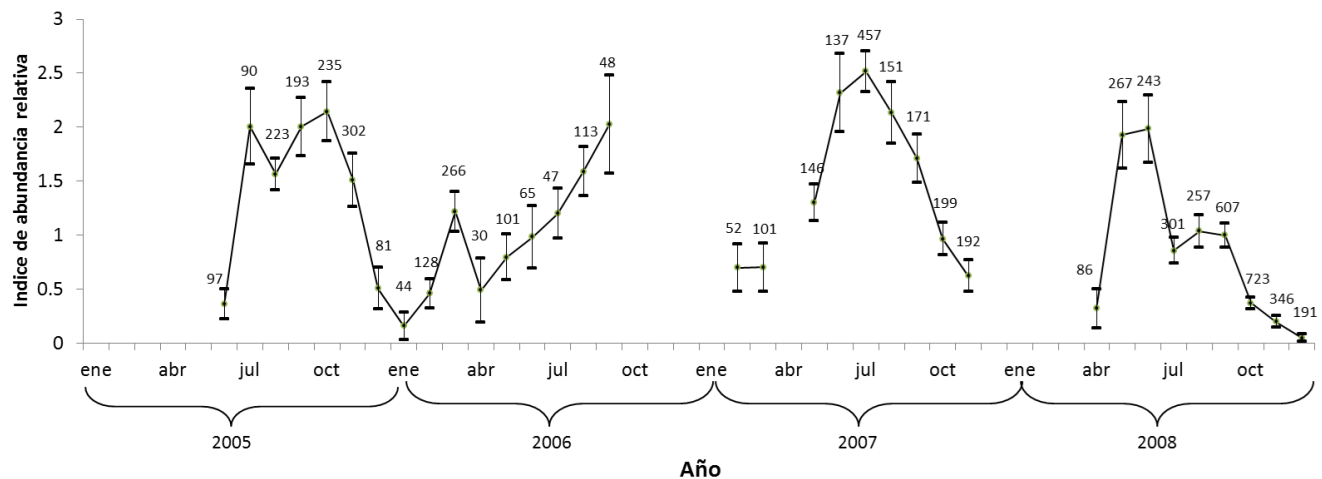


Figura 7. Serie de tiempo de la CPUE de *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec. Periodo del año 2005 al 2008. Se indica promedio (●), error estándar (barras horizontales) y el valor de *n* arriba de cada barra.

Estructura de tallas

La composición por tallas de las capturas de *Istiophorus platypterus* de las flotas artesanal y deportiva del Golfo de Tehuantepec, durante el periodo del año 2000 al 2008 se muestra en la figura 8. La distribución de frecuencias de LOF, estuvo basada en 4976 registros de LOF dentro del intervalo de 55 a 240 cm, media = 159.9 cm y desviación estándar (s) = 13.6 cm. La distribución de frecuencias de pesos, se basó en 4985 individuos, en un intervalo de 1.6 kg a 69.6 kg, media = 27.9 kg, y s = 6 kg.

La distribución de la longitud ojo-furca (LOF) por año, muestra una estructura unimodal a lo largo del periodo de estudio (Fig. 9). Sin embargo, durante el año 2000 se identificaron 2 modas, se estimó una talla promedio (μ_{LOF}) de 172.2 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 7.9$ cm) para la primera y una talla de 189.9 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 5.4$ cm) para la segunda y durante el año 2005 en las tallas de 155.3 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 0.6$ cm) y 169.9 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 12.2$ cm). Por otro lado al ordenar las tallas medias con respecto al tiempo, la tendencia es negativa con dos periodos de estabilidad (Fig. 10), es así que se determinaron diferencias significativas de la LOF ($F_{(0.05(1),8,4967)} = 6.8E+08$; $P < 0.05$). Durante el año 2000 las dos modas estimadas fueron las más altas del periodo y presentó una diferencia conspicua con respecto al resto del periodo ($q_{(0.05,4967,8)} > 19.3$; $P < 0.05$). El primer periodo homogéneo lo formaron los años 2001 a 2004. En el año 2001 su valor disminuyó hasta 167.8 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 9.5$ cm). Durante los años 2002 y 2003 las tallas medias promedio estimadas fueron 169.4 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 11.3$ cm) y 169.9 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 12.4$ cm). En el año 2004 volvió a disminuir la talla media estimada (165.1cm de LOF, $\sigma_{LOF} = 9.9$ cm). Sin embargo durante este periodo no se encontraron diferencias significativas ($F_{(0.05(1),3,671)} = 0.331$; $P > 0.05$). Finalmente durante los últimos 4 años las tallas promedio fueron las más pequeñas estimadas. La talla media estimada para el año 2006 fue 161.7 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 11.6$ cm), para 2007 fue 160.2 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 12.4$ cm) y para el año 2008 fue 160.3 cm LOF ($\sigma_{LOF} = 10.1$ cm). Considerando este segundo periodo no se observaron diferencias significativas ($F_{(0.05(1),3,4184)} = 0.333$; $P > 0.05$).

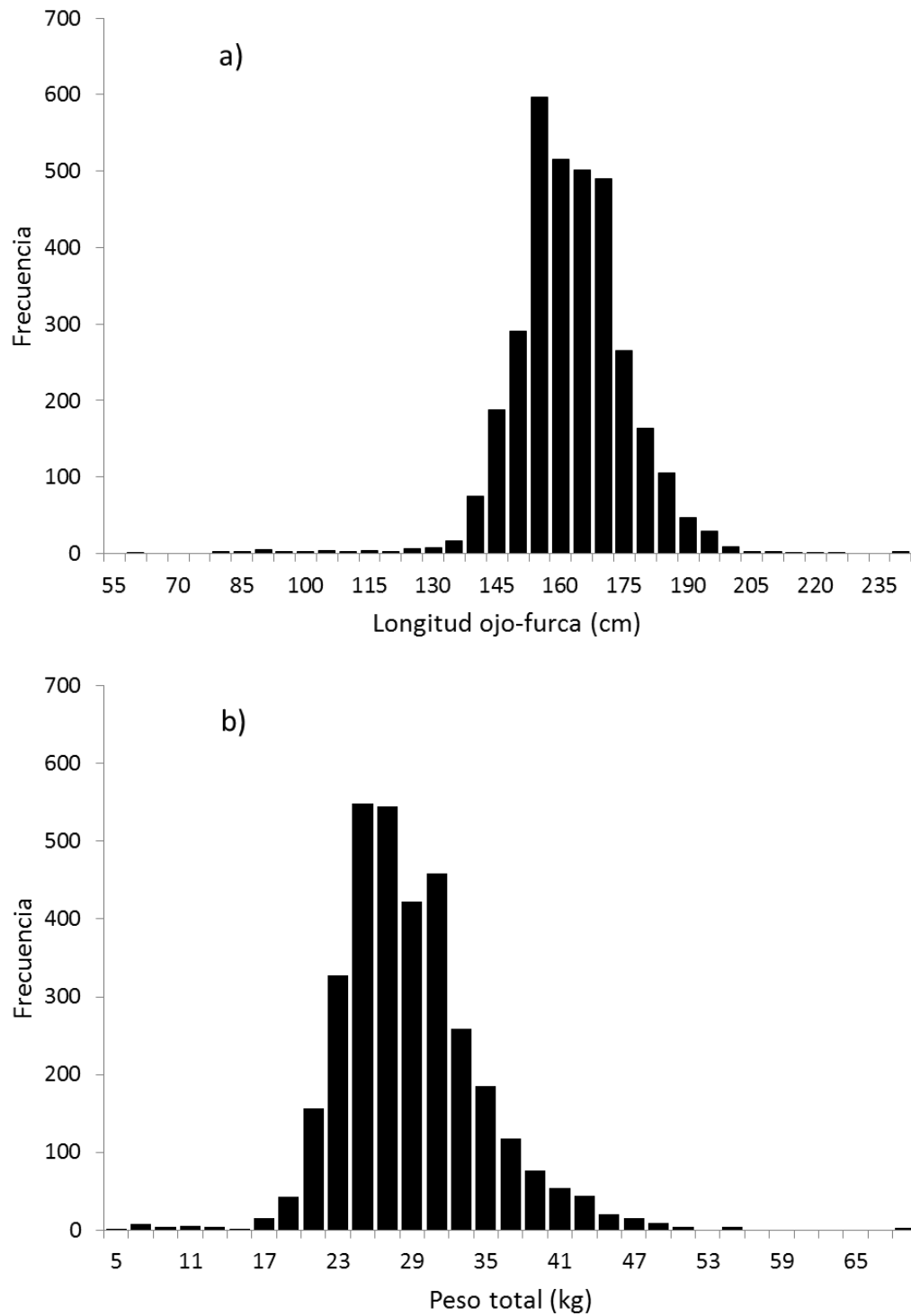


Figura 8. Distribución de frecuencia de la longitud ojo-furca; $n = 4976$ (a) y distribución de frecuencia del peso; $n = 4985$ (b) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México.

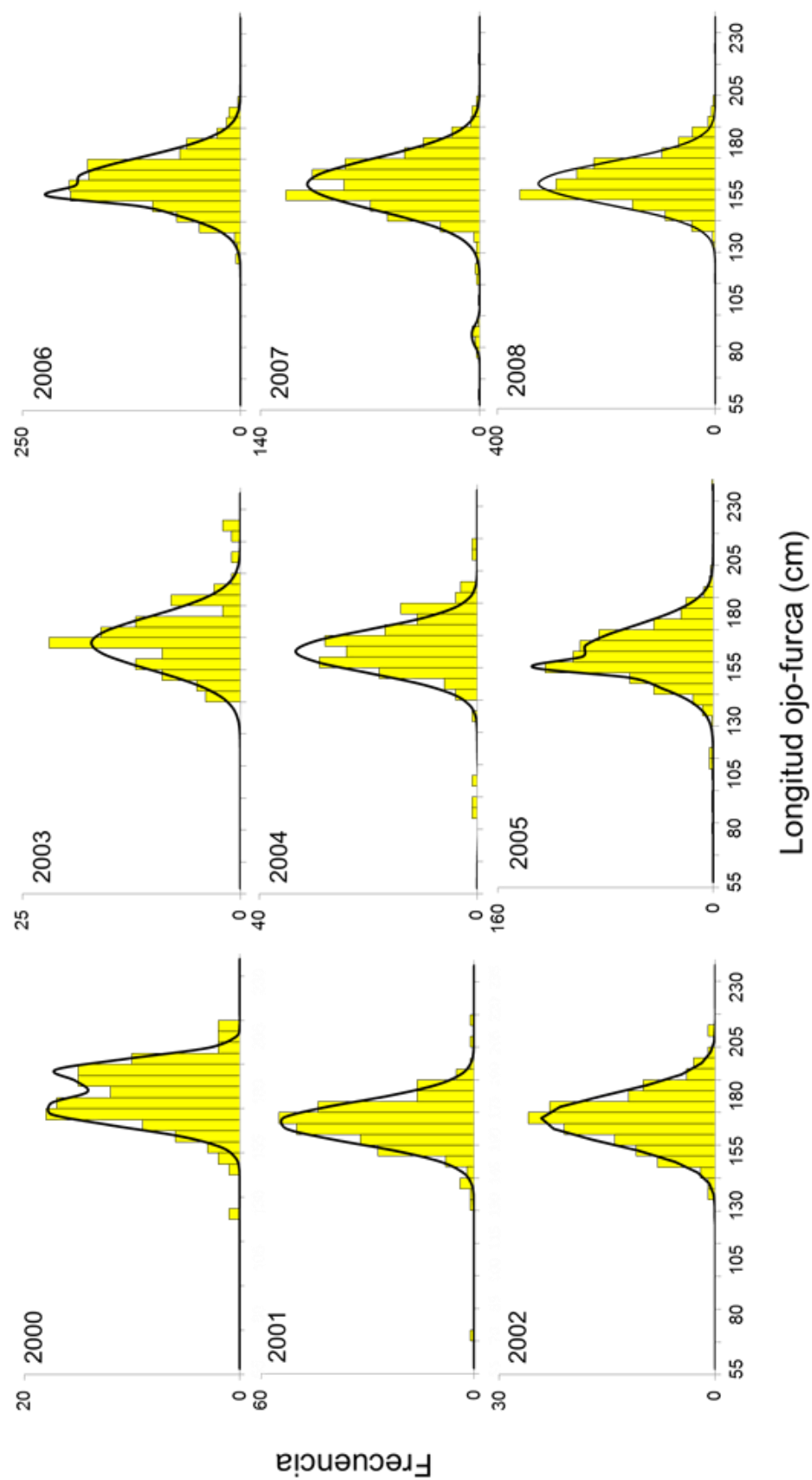


Figura 9. Estructura de tallas por año de *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal y deportiva en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo del año 2000 al 2008.

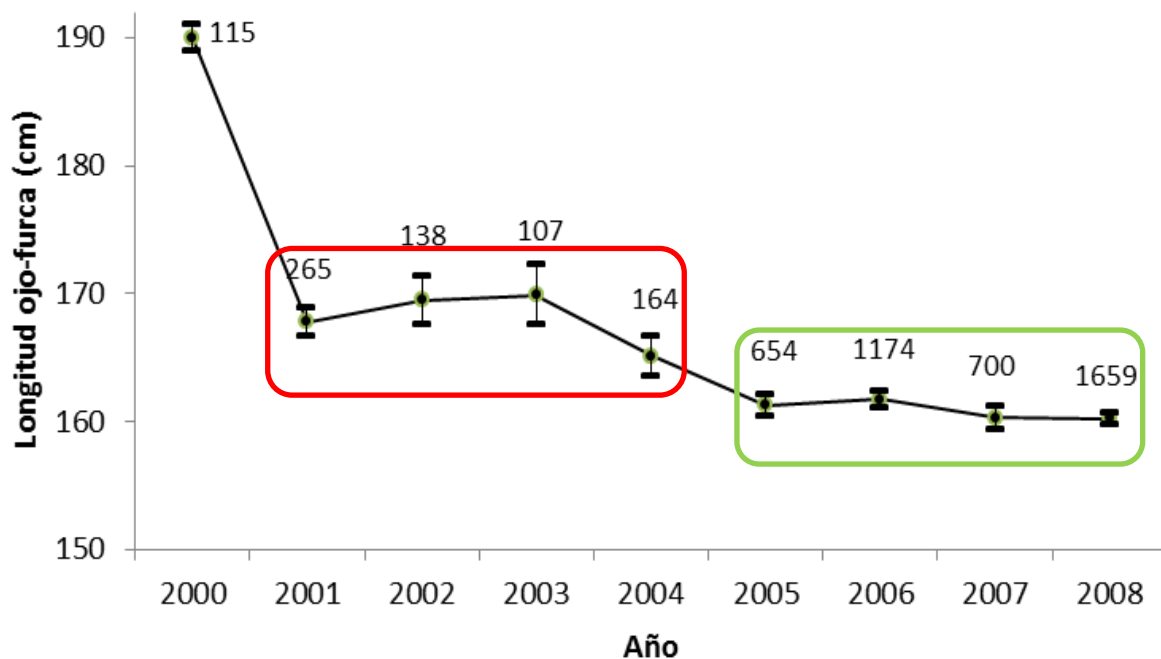


Figura 10. Talla promedio anual de *Istiophorus platypterus*, capturado por las flotas artesanal y deportiva en el Golfo de Tehuantepec para el periodo del 2000 al 2008. Se indica promedio (●), error estándar (barras horizontales) y el valor de n arriba de cada barra. Los recuadros indican periodos sin diferencias significativas (ANOVA, $P > 0.05$).

Relación talla vs peso

La relación longitud ojo-furca vs peso total fue expresada como $PT = 5 \times 10^{-5} \times LOF^{2.6}$ ($r^2 = 0.7$, $P < 0.05$) (Fig. 11). De acuerdo a la prueba de t de Student, el parámetro b fue significativamente diferente de 3 ($P < 0.05$), lo que indica un crecimiento alométrico negativo de *I. platypterus*.

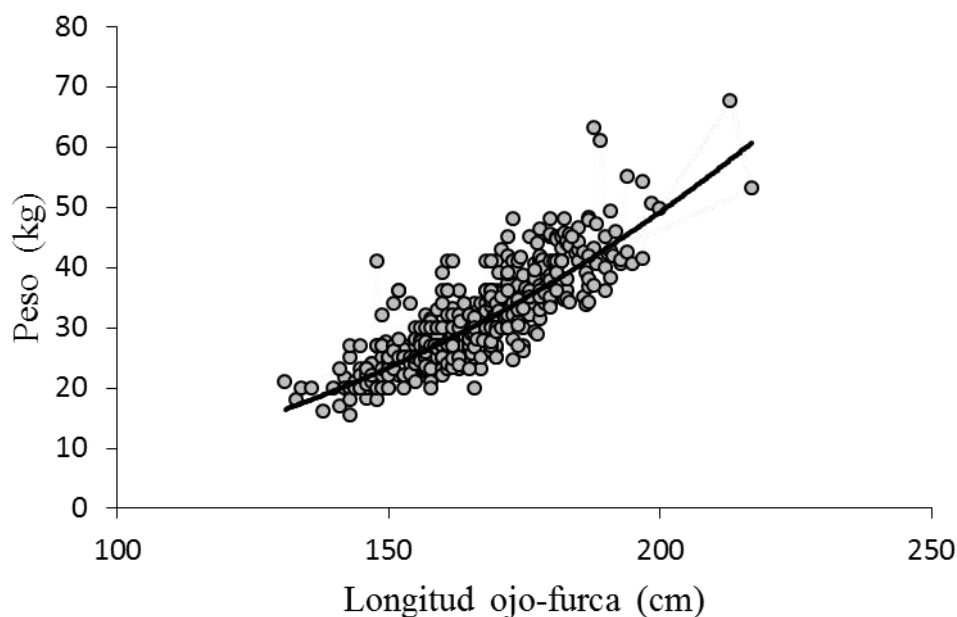


Figura 11. Relación peso total y longitud ojo furca de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México. $PT = 5 \times 10^{-5} \times LOF^{2.6}$ ($r^2 = 0.7$, $n = 743$).

Evaluación reproductiva

Análisis Histológico

Por medio del análisis histológico de las gónadas de las hembras, se identificaron 5 estadios de desarrollo ovárico, ocho subestadios de desarrollo de los ovocitos y dos estructuras indicadoras de desove; folículos postovulatorios y atresias. Se identificó el estadio de crecimiento primario, caracterizado por un gran número de ovocitos primarios que son las células dominantes. Este estadio fue definido como II que corresponde a las hembras inmaduras de la muestra. El estadio de crecimiento secundario o vitelogénesis (estadio III), crecimiento terciario o maduración (estadio IV), y desove o final del proceso de la postvitelogénesis (estadio V) fueron utilizados como criterio para identificar a las hembras maduras. Las hembras en estadio VI fueron clasificadas como un estadio de recuperación, caracterizado por la presencia de ovocitos en vitelogénesis con signos de atresia. Los subestadios de los ovocitos, incluyendo su descripción y diámetro estimado se encuentran descritos en la Tabla 3.

La distribución porcentual mensual por estadio de madurez de las hembras evaluadas histológicamente se presenta en la figura 12. Los estadios predominantes son: vitelogénesis (estadio III) y maduros (IV). Durante mayo y junio se observan organismos desovados (aprox. 20%) y durante julio y septiembre (30%) en desove. En el mes de septiembre se ha reducido la proporción de organismos en proceso de maduración y maduros, indicando el fin de la temporada reproductiva. Los organismos de este periodo (mayo-septiembre) fueron utilizados para la estimación de la LM.

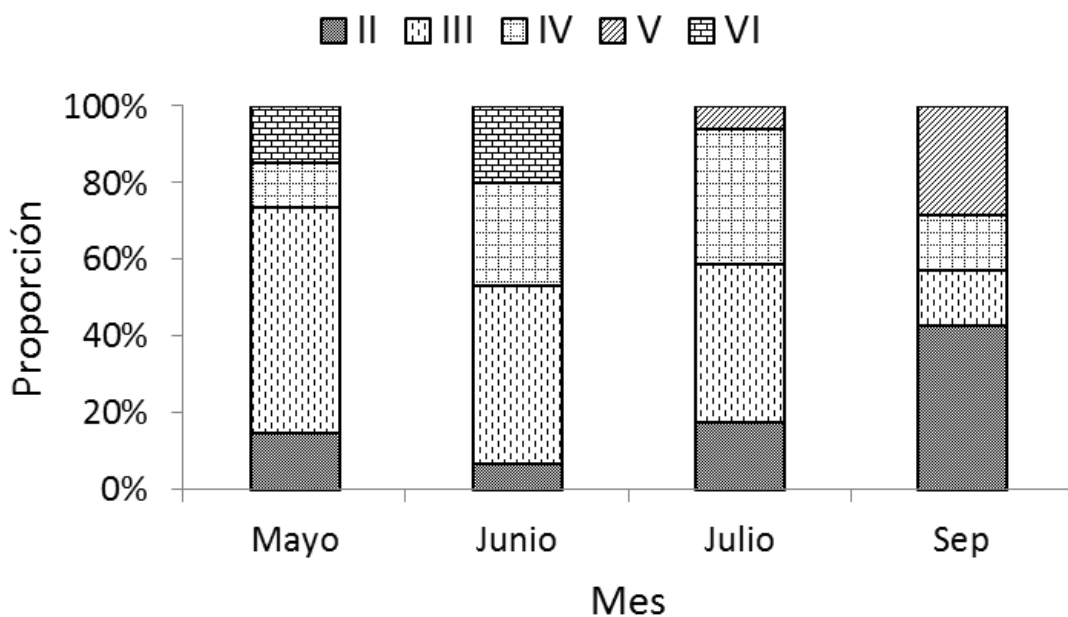


Figura 12. Proporción mensual de hembras por estadio de madurez evaluadas histológicamente, para los años 2005 y 2008 conjuntamente.

En el estadio II se identificaron ovarios con abundantes ovocitos del tipo nucléolo cromatina (Cn), ovocitos perinucleares tempranos (Ep), y ovocitos perinucleares tardíos (Lp). Estos grupos de ovocitos se caracterizan por la presencia de nucléolos en la periferia del núcleo y al final de estos estadios es posible observar la incipiente capa folicular que rodea a los ovocitos. Estos dos grupos se mantuvieron en todos los estadios de madurez.

Tabla 3. Estadios de desarrollo ovárico y subestadios de desarrollo de los ovocitos de las hembras de *Istiophorus platypterus*. Diámetro medio $\pm$ ES ($P < 0.05$)*.

Estadio	Subestadios de los ovocitos	Descripción de los ovocitos	Diámetro de los ovocitos (μm)
II. Crecimiento primario (previtelogénesis) Este estadio está caracterizado por un gran número de ovocitos primarios, los cuales son las células dominantes.	Núcleo cromatina (Cn)	Células con núcleos grandes y solo un gran nucléolo. Estos ovocitos tienen un angosto anillo de citoplasma basofílico.	$19.8 \pm 0.16^*$
	Perinucleolar temprano (Ep)	Se aprecian dos nucléolos en la periferia del núcleo. La característica más evidente en este estadio es el incremento en tamaño debido al incremento del volumen del citoplasma.	$41.0 \pm 0.40^*$
	Perinucleolar tardío (Lp)	El ovocito presenta forma irregular. En el núcleo se encuentran múltiples nucléolos pequeños y aplanados. El folículo consiste de una capa sencilla de células foliculares aplanadas.	$63.9 \pm 0.39^*$
III. Crecimiento secundario (vitelogénesis) Este estadio marca el inicio de la vitelogénesis. Los ovocitos primarios comienzan a acumular vitelo y estas son las células listas para la maduración.	Alveólo cortical (Ca)	Se observa un incremento en el volumen del citoplasma. Los alveolos corticales aparecen como pequeñas vacuolas que casi ocupan todo el citoplasma de ovocito y gradualmente se desplazan hacia la periferia del ovocito.	$111.5 \pm 0.75^*$
	Inclusión lipídica (Li)	Las inclusiones lipídicas se encuentran dispersas en el citoplasma como pequeñas gotas que incrementan su tamaño y número conforme avanza la maduración. Es posible observar una delgada zona radiata.	$160.2 \pm 2.19^*$
	Vitelogénesis temprana (Ev)	Es evidente el crecimiento de los ovocitos debido a la acumulación de vesículas de vitelo en la periferia del citoplasma.	$197 \pm 4.8^*$
IV. Crecimiento terciario (maduración) Fin de la vitelogénesis	Vitelogénesis tardía (Lv)	Los gránulos de vitelo incrementan su tamaño y ocupan todo el citoplasma. Adicionalmente coalescentes glóbulos de lípidos. Máximo grosor de la zona radiata y capa de células foliculares.	$289 \pm 4.1^*$
V. Desove (final del proceso postvitelogénico) El ovario contiene ovocitos completamente maduros.	Hidratación y ovulación (Hy)	El final del proceso de la postvitelogénesis es la hidratación. Los ovocitos son denominados ovocitos hidratados, debido a la incorporación de agua a través de las células foliculares y su forma es irregular. Las células foliculares que cubren el ovocito se rompen cuando la ovulación ocurre y estas son llamadas folículos postovulatorios.	$328 \pm 15.3^*$
VI. Desovado	Ovocitos en previtelogénesis (Cn, Ep, Lp)	Los ovocitos fueron liberados. Los ovocitos que permanecen son similares a los del estadio II, pero se presentan estructuras indicadores de desove; folículos postovulatorios y atresias. También están presentes un reducido número de ovocitos en previtelogénesis temprana.	

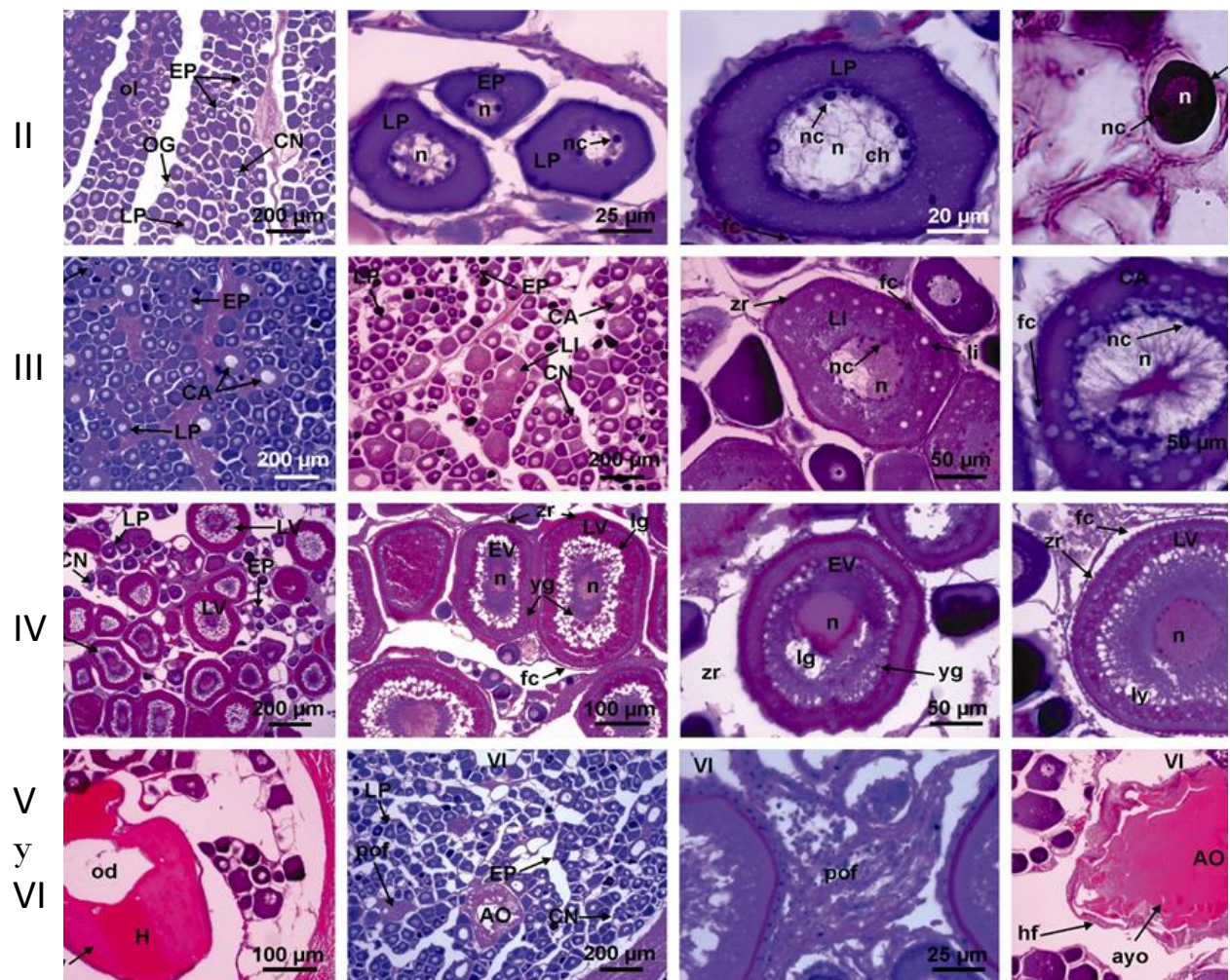


Figura 13 Microfotografías de secciones de ovario mostrando los diferentes estadios de desarrollo de gónadas de hembras de *Istiophorus platypterus* del Golfo de Tehuantepec. II. Crecimiento primario (previtelogénesis), III. Crecimiento secundario (vitelogénesis exógena), IV. Crecimiento terciario (maduración), V. Desove (hidratación y ovulación), VI. Postdesove. Ovocito núcleo cromatina (CN), ovocito perinucleolar temprano (EP), ovocito perinucleolar tardío (LP), ovocito alveolo cortical (CA), inclusión lipídica (LI), ovocito vitelogénesis tardía (LV), ovocito vitelogénesis temprana (EV), ovocito atresico (AO); ovocito hidratado y ovulación (H), núcleo (n), núcleo (nc); alveolo cortical (ca), células foliculares (fc), zona radiata (zr), gránulos de lípidos (ly), gota de aceite (od), gránulos de vitelo (pyg), fluido proteico del vitelo (fpy), folículo postovulatorio (pof), atresia en ovocito con vitelo (ayo), células de la theca (th). Las abreviaciones corresponden a la nomenclatura estándar.

En el estadio III se observan diferentes tipos de ovocitos, como resultado del desarrollo asincrónico de los ovocitos. En este estadio de desarrollo se predominan tres tipos de ovocitos. Los primeros son los ovocitos de tipo alveolo cortical (Ca), éstos parecen pequeñas vacuolas que ocupan casi todo el citoplasma del ovocito. Un segundo tipo son los ovocitos identificados como del tipo inclusión lipídica (Li) y vitelogénesis temprana (Ev). En los ovocitos con inclusiones lipídicas es posible observar una delgada zona radiata, y en los ovocitos en vitelogénesis temprana se observan vesículas de vitelo en la periferia del citoplasma.

En el estadio IV, se observaron seis diferentes tipos de ovocitos. Los ovocitos predominantes fueron los ovocitos en vitelogénesis tardía (Lv), los cuales presentan un incremento en el tamaño de los gránulos de vitelo y ocupan casi todo el citoplasma, con un máximo grosor de la zona radiata y de las capas foliculares.

El estadio V llamado de desove, mostró tres grupos de ovocitos. Los dos primeros fueron similares a los presentes en el estadio II. El grupo de ovocitos más avanzado son los hidratados que han incorporado agua a través de las células foliculares y son de forma irregular. En este estadio no se observaron ovocitos en vitelogénesis temprana (Ev) o tardía (Lv).

El estadio VI, está caracterizado por presentar estructuras indicadoras de desove como los folículos postovulatorios y las atresias. En este estadio no se observaron ovocitos mayores de 175 μm , en consecuencia los ovocitos asociados con el desove de *I. platypterus* solo fueron observados en los estadios de madurez III y IV.

Distribución del diámetro de los ovocitos

Se midieron un total de 4654 ovocitos y se encontró una diferencia significativa entre el tamaño de los ovocitos como una función del estadio de desarrollo ($F_{6, 4646} = 5491.8$, $P < 0.01$). El incremento del diámetro medio de los ovocitos se muestra en la figura 14. El análisis histológico mostró que los ovarios de las hembras de *I. platypterus* presenta

diferentes tipos de ovocitos y que su presencia cambia en función del estadio de madurez del ovario (Fig. 15 a, b, c, d, e; Tabla 8). De acuerdo al análisis multinomial de la frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) presentes en el estadio II de madurez, se encontraron tres modas en este estadio (Fig. 15a). La primera moda fue a los 30.2 μm ($\sigma = 8.4 \mu\text{m}$, IC = 29.2 – 31.2 μm , $P < 0.05$), la segunda moda fue a los 60 μm ($\sigma = 7.9 \mu\text{m}$, IC = 58.8 – 61.1 μm , $P < 0.05$), y la tercera moda fue a los 80 μm ($\sigma = 4.8 \mu\text{m}$, IC = 78.9 – 81.1 μm , $P < 0.05$). Estos tipos de ovocitos presentaron un diámetro menor a las 90 μm . Las modas observadas corresponden a los ovocitos del tipo Cn, Ep y Lp.

En el estadio III se estimaron con el análisis multinomial de FDTO cinco modas de los diámetros de los ovocitos (Fig. 15b). La primera moda fue a los 29.7 μm ($\sigma = 11.6$, IC = 29.0 – 30.4 μm , $P = 0.05$), la segunda moda fue a los 61.9 μm ($\sigma = 13.9 \mu\text{m}$, IC = 61.1 – 62.7 μm , $P = 0.05$), la tercera moda fue a los 115.1 μm ($\sigma = 21 \mu\text{m}$, IC = 113.5 – 116.6 μm , $P = 0.05$), la cuarta fue a los 174.8 μm ($\sigma = 12 \mu\text{m}$, IC = 172.6 – 177 μm , $P = 0.05$), y la quinta fue a los 224.8 μm ($\sigma = 9 \mu\text{m}$, IC = 222.8 – 226.8 μm , $P = 0.05$). La tercera moda corresponde a ovocitos de tipo Ca. La cuarta y quinta modas corresponden a ovocitos identificados como del tipo Li y Ev.

En el estadio IV, se observaron seis diferentes tipos de ovocitos en la FDTO (Fig. 15c). La primera moda fue a los 27.4 μm ($\sigma = 2.7 \mu\text{m}$, IC = 27.1 – 27.8 μm , $P = 0.05$), la segunda moda fue a los 61.9 μm ($\sigma = 18.2 \mu\text{m}$, IC = 59.8 – 63.9 μm , $P = 0.05$), la tercera moda fue a los 131.9 μm ($\sigma = 15.3 \mu\text{m}$, IC = 129.8 – 134.0 μm , $P = 0.05$), la cuarta fue a los 176.3 μm ($\sigma = 15.6 \mu\text{m}$, IC = 173.0 – 179.6 μm , $P = 0.05$), la quinta fue a los 226.3 μm ($\sigma = 9.9 \mu\text{m}$, IC = 223.2 – 229.3 μm , $P = 0.05$), y la sexta fue a los 280.2 μm ($\sigma = 18.5 \mu\text{m}$, IC = 274.8 – 285.5 μm , $P = 0.05$). La última moda estimada se compone de ovocitos en Lv.

En el estadio V o de desove, como ya se mencionó se mantuvieron los grupos de ovocitos en previtelogénesis (Fig. 15d). Estos ovocitos con un valor de diámetro

promedio de 26.0 μm ($\sigma = 2.1 \mu\text{m}$, IC = 25.3 – 26.6 μm , $P = 0.05$) y 64.0 μm ($\sigma = 11.2 \mu\text{m}$, IC = 61.8 – 66.2 μm , $P = 0.05$). También se observaron ovocitos hidratados (Hy) con dos medias, 304.9 μm ($\sigma = 21.8 \mu\text{m}$, IC = 294.7 – 315.0 μm , $P = 0.05$) y 377.4 μm ($\sigma = 18.3 \mu\text{m}$, IC = 368.8 – 385.9 μm , $P = 0.05$).

En el estadio VI, el resultado del análisis multinomial de la FDTO mostró cuatro modas (Fig. 15e). La primera moda fue a los 26.2 μm ($\sigma = 6.4 \mu\text{m}$, IC = 25.4 – 27.19 μm , $P = 0.05$), la segunda moda fue a los 71 μm ($\sigma = 20.3 \mu\text{m}$, IC = 68.3 – 73.7 μm , $P = 0.05$), la tercera moda fue a los 135 μm ($\sigma = 10 \mu\text{m}$, IC = 132.8 – 137.2 μm , $P = 0.05$), y la cuarta moda fue a los 170.1 μm ($\sigma = 10 \mu\text{m}$, IC = 165.6 – 174.6 μm , $P = 0.05$).

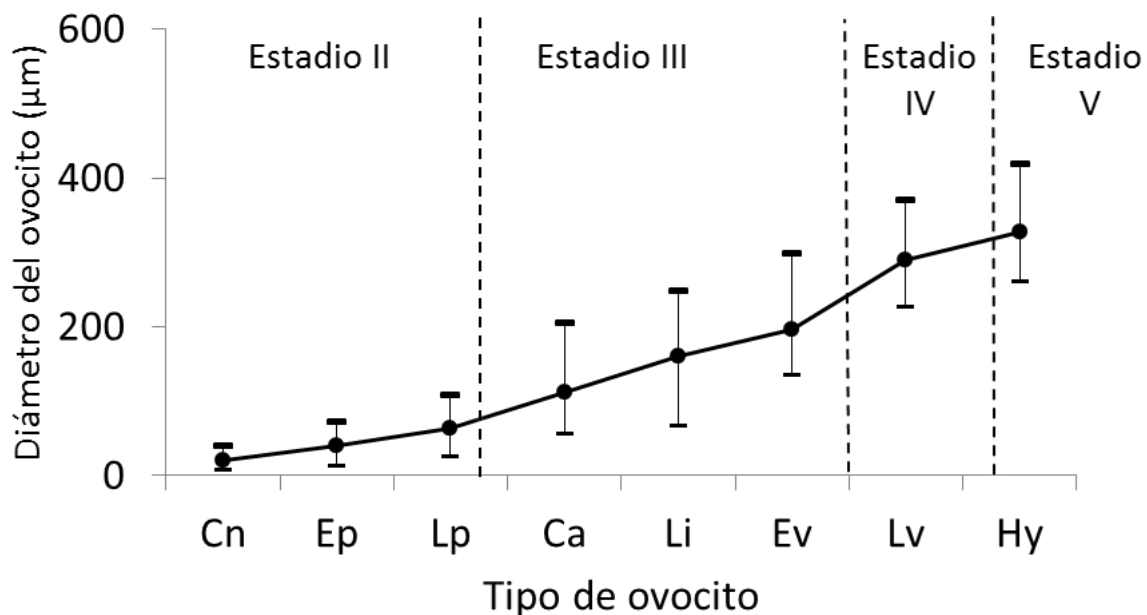


Figura 14. Variación del diámetro del ovocito de *Istiophorus platypterus* utilizando mediciones del grupo de ovocitos más avanzado (GOMA). Nucléolo cromatina (Cn) ($n = 1003$), Previtelogénico temprano (Ep) ($n = 1091$), Previtelogénico tardío (Lp) ($n = 1179$), Alveolo cortical (Ca) ($n = 947$), Inclusión lipídica (Li) ($n=301$), Vitelogénesis temprana (Ev) ($n = 86$), Vitelogénesis tardía (Lv) ($n = 46$), Hidratación (Hy) ($n = 36$). Se muestra el diámetro mínimo y máximo (—) por tipo de ovocito.

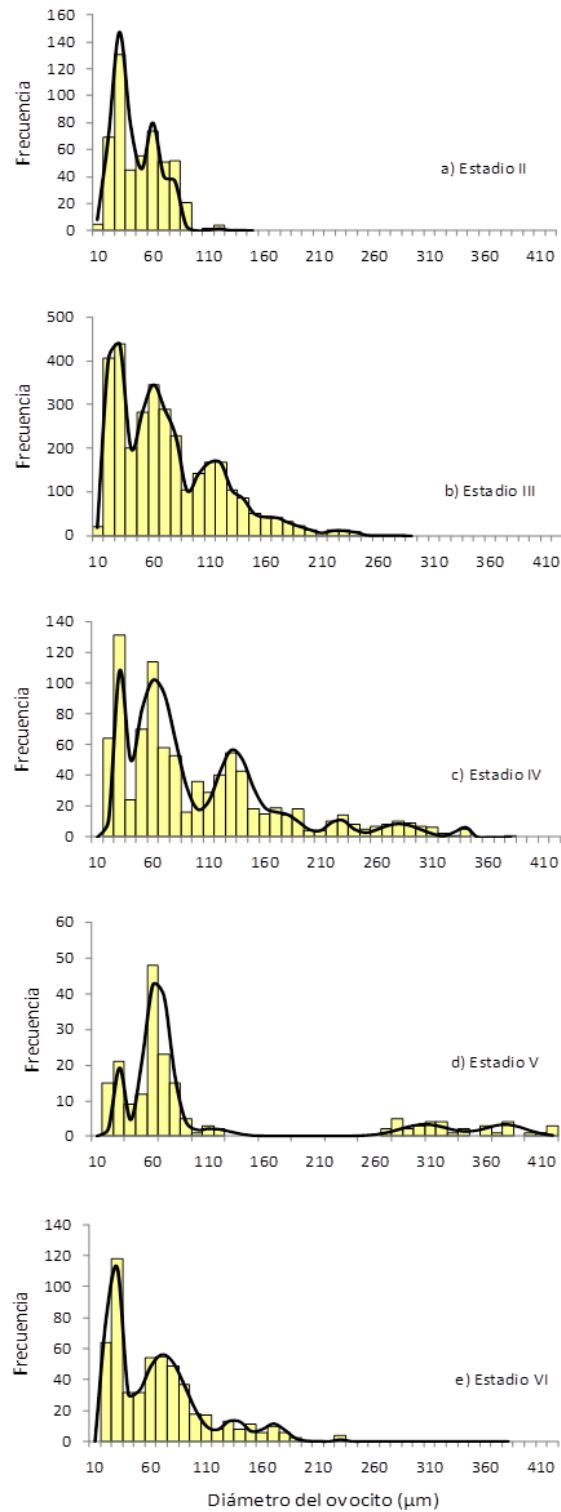


Figura 15. Análisis de la distribución de frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDO) por estadio de madurez de *Istiophorus platypterus*. Tamaño de muestra, a) $n = 512$, b) $n = 3230$, c) $n = 918$, d) $n = 547$, e) $n = 190$. La línea continua representa el modelo multinomial ajustado a los datos.

Proporción de sexos e índice gonadosomático

Durante los años 2005 y 2008 se registró la LOF de 2315 organismos conjuntamente entre la pesca deportiva y artesanal. De estos, solo para 1499 individuos de *I. platypterus* fue posible determinar el sexo (741 hembras y 758 machos). Para su análisis, la información fue agrupada por trimestres de los dos años en conjunto. De acuerdo a la muestra, la captura de *I. platypterus* estuvo compuesta por 49.4% hembras y 50.5% machos. Los intervalo de longitudes ojo-furca (LOF) fue significativamente diferente entre machos y hembras. Los machos fueron más pequeños que las hembras ($F_{(1, 1495)} = 74.1$, $P < 0.01$). El intervalo de tallas para las hembras fue de 115 cm a 245 cm de LOF. Para los machos el intervalo fue 95 a 205 cm de LOF (Fig. 16a, b, c). Durante el primer trimestre de 2005 y 2008 *I. platypterus* estuvo ausente en el Golfo de Tehuantepec y durante los tres trimestres restantes, no se observaron diferencias significativas de la LOF de las hembras capturadas ($F_{(2,738)} = 0.85093$, $P = 0.427$). En el caso de los machos se observó una tendencia negativa de la LOF hacia el último trimestre del año ($F_{(2,755)} = 4.4501$, $P = 0.011$).

La proporción de sexos mostró diferencias significativas de acuerdo con la prueba de χ^2 ($gl = 1$, $P < 0.05$) durante el periodo de estudio considerado. Durante el segundo trimestre se observó una mayor proporción de hembras en las muestras mientras que durante el tercer y cuarto trimestre se presentó una proporción mayoritaria de machos (Tabla 4). Las estimaciones de la regresión local ponderada usada para observar la tendencia de la proporción de sexos, mostraron que los machos dominaron a tallas menores de 155 cm de LOF. La proporción de hembras mayor la 0.5 dominó a LOF mayores de 175 cm (Fig. 17a, b, c).

Tabla 4. Número de hembras y machos de *Istiophorus platypterus* agrupados por trimestre con el valor de χ^2 asumiendo una proporción 1:1 por periodo del año.

	Hembras	Machos	Proporción	χ^2	P
2do trimestre	256	161	0.614	21.64	0.0000
3er trimestre	309	363	0.460	4.34	0.0372
4to Trimestre	176	234	0.429	8.20	0.0042
Total	741	758	0.494	0.19	0.6606

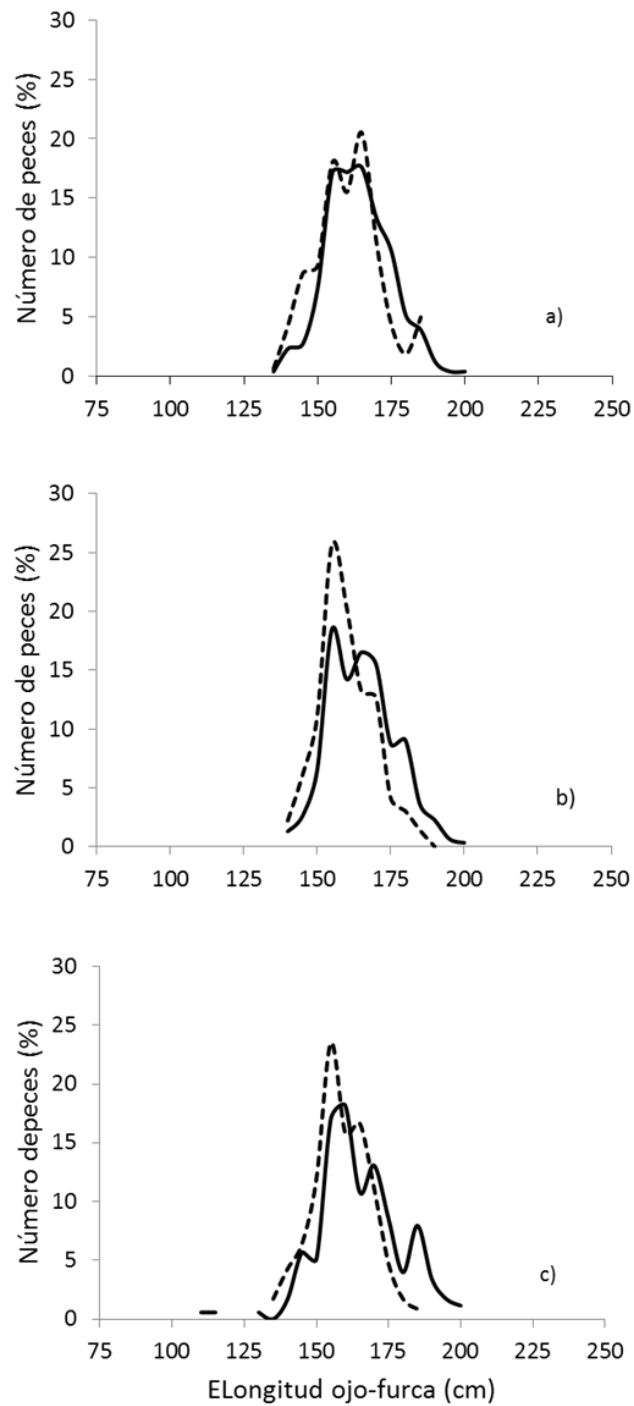


Figura 16. Composición de tallas de machos (línea punteada) y hembras (línea continua) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec para los años 2005 y 2008 conjuntamente. a) Segundo trimestre, b) tercer trimestre y c) cuarto trimestre.

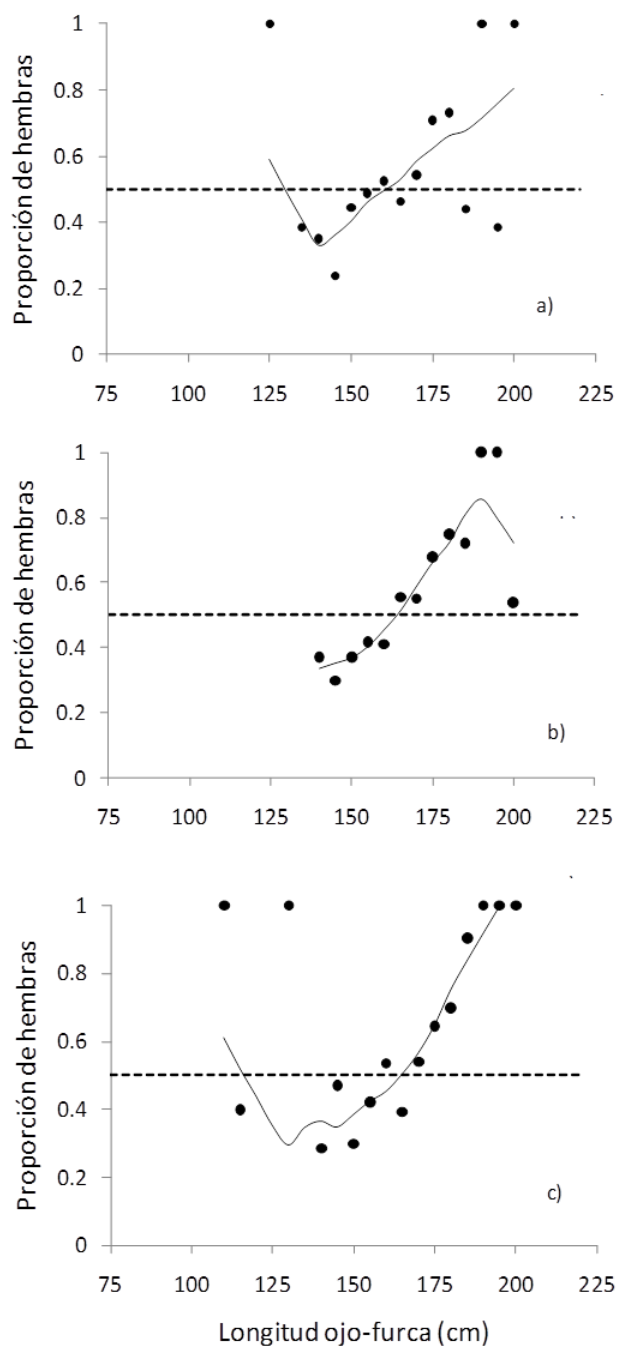


Figura 17. Proporción de hembras de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente, estimada utilizando regresión local ponderada. La línea continua indica el modelo ajustado a los datos con un $\lambda = 7$ y la línea punteada muestra la proporción 1:1 de hembras y machos. a) Segundo trimestre ($r^2 = 0.42$), b) tercer trimestre ($r^2 = 0.83$), y c) cuarto trimestre ($r^2 = 0.46$).

El índice gonadosomático (IGS) varió de 0.08 durante mayo a 9.9 en junio. Los valores más altos del IGS se presentaron durante los meses de junio y septiembre (Fig. 18). Lo cual sugiere que *I. platypterus* presenta un amplio periodo reproductivo con picos de mayor actividad durante los meses de junio (IGS = 1.6) y septiembre (IGS = 2.3). La hembra madura más pequeña midió 141 cm LOF (IGS = 0.79) y la hembra más pequeña en condición de desove (estadio de madurez V) midió 147 cm LOF (IGS = 1.14).

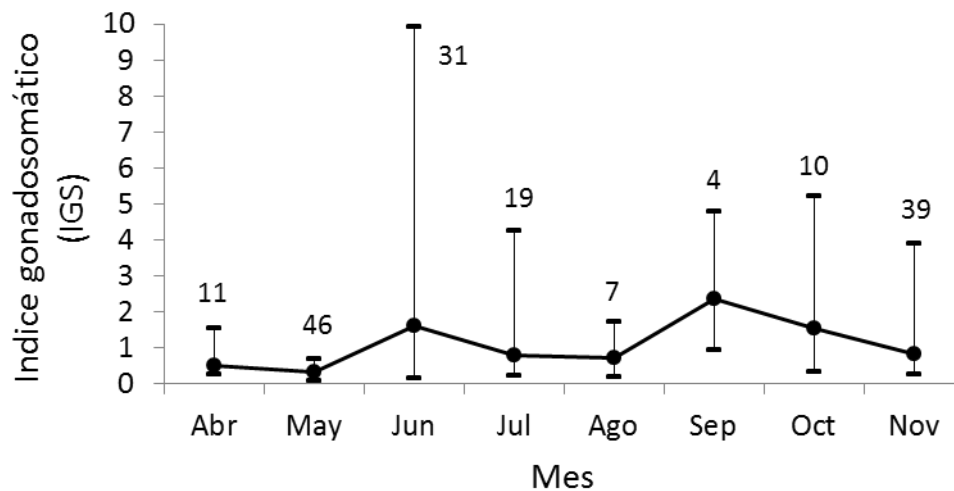


Figura 18. Índice gonadosomático (IGS) estimado para *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente. Las barras horizontales indican máximo y mínimo. Se indica *n* sobre las barras.

Longitud de primera madurez (LM)

En la estimación de la longitud de primera madurez (LM) se incluyó solo a hembras capturadas durante la época reproductiva. Las hembras estuvieron dentro de un intervalo de tallas de 130 a 200 cm de LOF. De las gónadas analizadas el 68% fueron clasificadas como maduras. El modelo que describe la LM fue estimado como:

$$p_i = \frac{1}{1 + \exp^{-(L_i - 150.2)/19.6}}$$

Se estimó la LM, con un valor de 150.2 cm de LOF (Fig. 19). El valor final de la función objetivo fue $-\ln L = 14.21$.

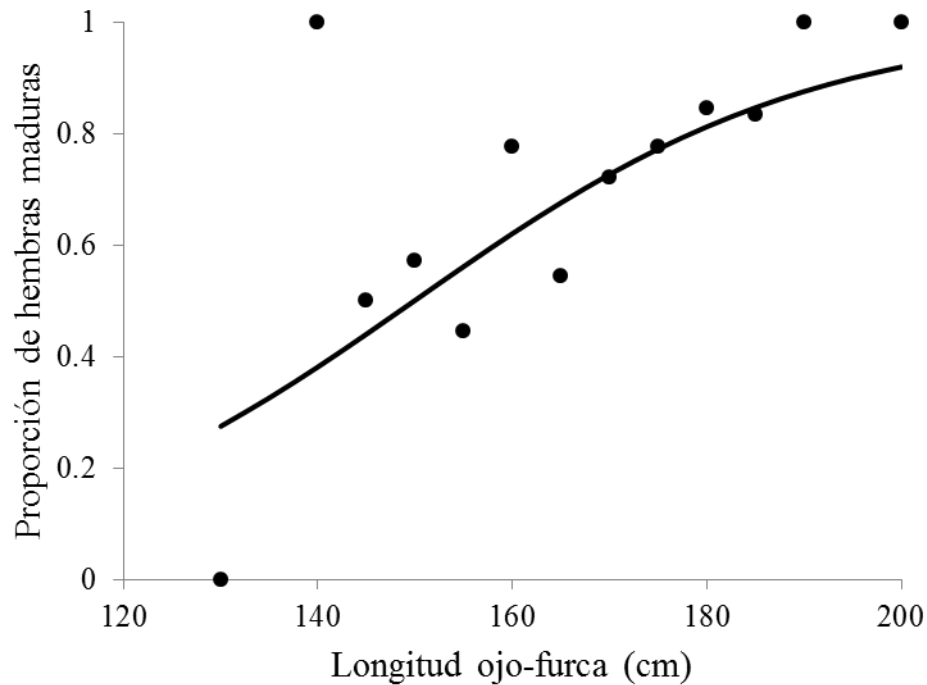


Figura 19. Modelo ajustado de la longitud de primera madurez (LM) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, para los años 2005 y 2008 conjuntamente.

Intervalos de confianza

Los intervalos de confianza fueron de 140.5 cm a 159 cm de LOF ($\chi^2_{1,1-\alpha}$, $P < 0.05$, Fig. 20a). El parámetro ϕ fue estimado como 19.6 y su intervalo de confianza fue 13 a 36.5 ($\chi^2_{1,1-\alpha}$, $P < 0.05$, Fig. 20b).

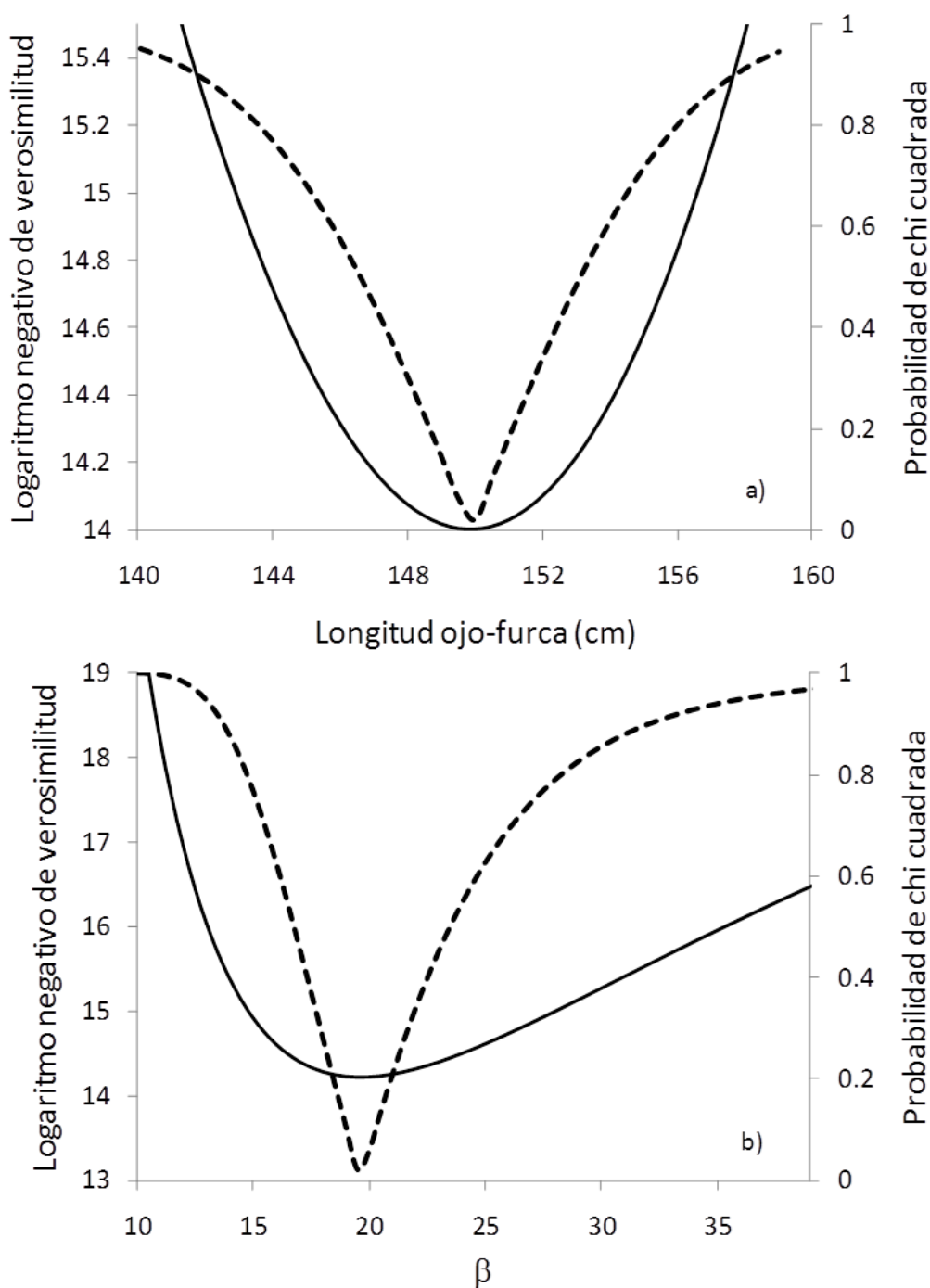


Figura 20. Intervalos de confianza de los parámetros del modelo logístico que describe la longitud de primera madurez LM de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec para los años 2005 y 2008 conjuntamente. a) Perfil de verosimilitud de la LM, b) perfil de verosimilitud del parámetro β . La línea sólida muestra los valores de los parámetros y la línea punteada muestra la probabilidad de χ^2 .

Edad y crecimiento

De los 535 cortes de espinas solo fueron leídas satisfactoriamente 477. La precisión estimada entre lecturas varió en un 11%, pero la evaluación con la prueba de χ^2 no indica diferencias significativas entre las lecturas ($P < 0.05$). Los primeros cuatro anillos fueron visibles en el 79% de los cortes analizados. Se corrigió el 21% de las edades asignadas por lectura directa, añadiendo un máximo de tres anillos perdidos. La edad corregida, el promedio y error estándar del radio del foco a cada una de las marcas de cada grupo de edad se muestran en la figura 21. Un máximo de 9 grupos de edad fueron estimados por lectura directa de los cortes de las espinas. Después de la corrección de los anillos perdidos por el crecimiento de la zona vascularizada, fueron evidentes 11 grupos de edad en el análisis (Fig. 22). La clave talla edad para *I. platypterus* se muestra en la Tabla 5. La clase de edad 5 fue la más abundante (32%), seguido de la clase de edad 6 (24%) y la clase de edad 4 (14%).

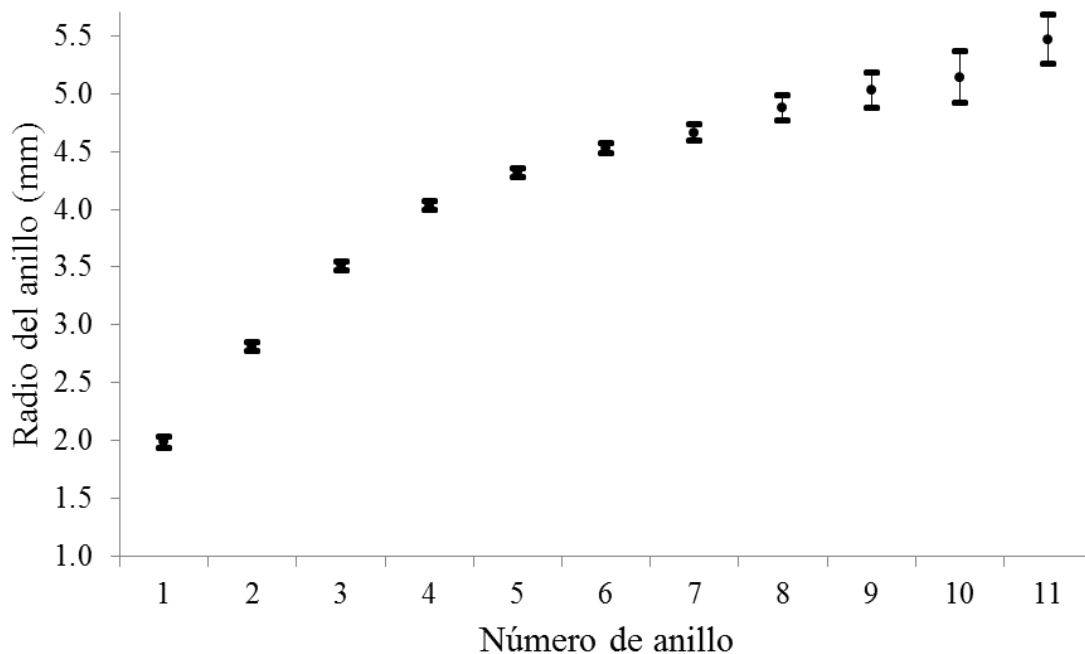


Figura 21. Número de anillos y su radio a cada anillo de crecimiento de *Istiophorus platypterus* del Golfo de Tehuantepec, México. Se muestra la media ($\pm$ EE).

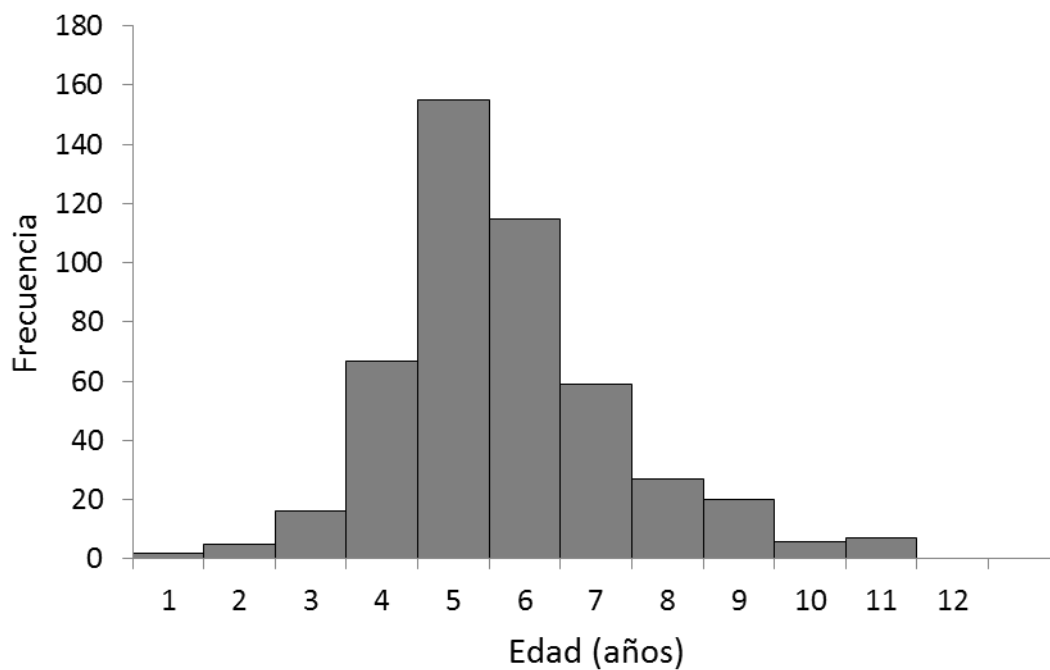


Figure 22. Composición de edades de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México.

Tabla 5. Clave talla-edad de *Istiophorus platypterus* del Golfo de Tehuantepec, México.

LOF (cm)	Grupo de edad (año)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80	1										
85		2									
90											
95											
100											
105											
110	1										
115		2									
120		1	1								
125											
130			2	1	1						
135				1	1						
140			2	5	6	2					
145			4	2	9	7	2				
150			1	7	12	9	5	1		1	
155			3	10	27	10	7	2		1	
160			1	18	30	11	4	3	3	1	
165			2	8	28	21	5	4	5		
170				3	28	23	18	4	3		
175				5	8	11	6	5	2		2
180				4	4	9	7	2	3	2	1
185				2		7	2	2	1	1	1
190				1		2	2	2			1
195						3			1		1
200									1		
205								1	1		
210											
215									1		
220											1
n	2	5	16	67	154	115	58	26	21	6	7
Proporción (%)	0.42	1.05	3.35	14.05	32.29	24.11	12.16	5.45	4.40	1.26	1.47

Periodicidad de los incrementos

El promedio mensual del incremento marginal (IM) fue mayor durante marzo a agosto, el valor promedio del IM durante este periodo de tiempo fue de 0.64 (Fig. 23). En este periodo no se presentaron diferencias significativas entre los valores del IM ($P < 0.05$). Después del mes de agosto el IM declinó a un valor promedio del IM de 0.45 durante el periodo de septiembre a diciembre (Fig. 23). La prueba de ANOVA no mostro diferencia significativas durante este periodo ($P < 0.05$). Durante enero la especie no está disponible en la zona y en febrero es la transición entre la formación de los anillos de crecimiento. A partir de estas estimaciones del IM se infiere que un anillo de crecimiento es formado anualmente, su formación sucede durante septiembre a diciembre.

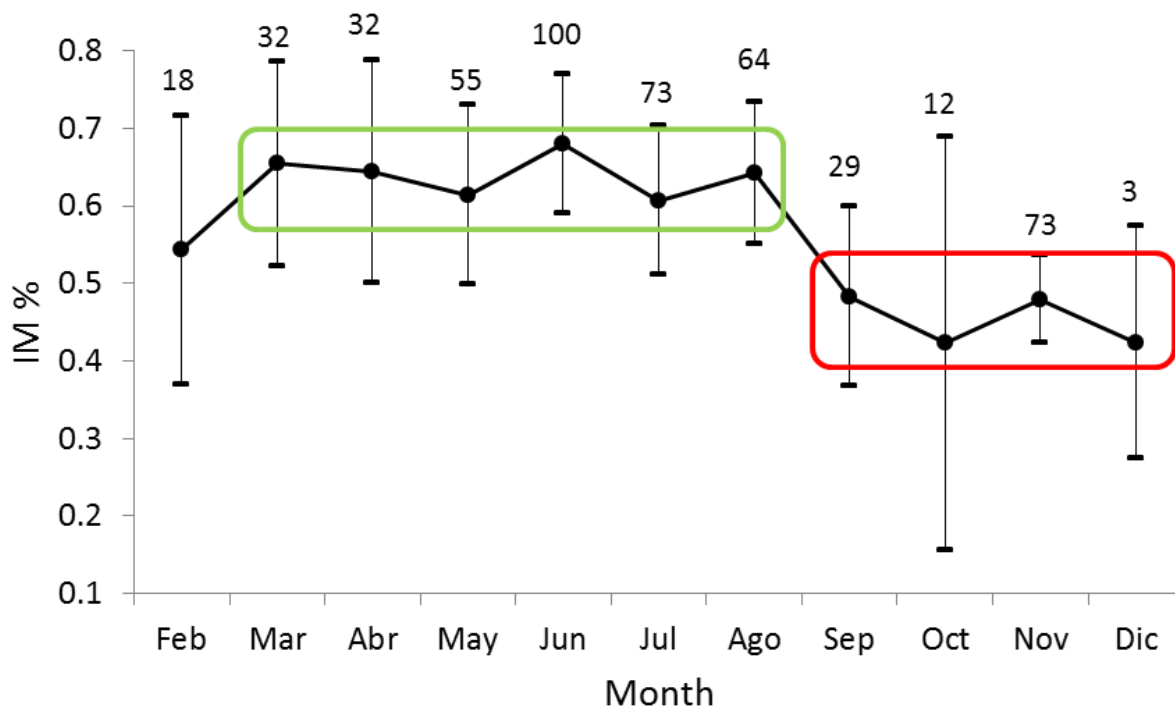


Figura 23. Promedio mensual del incremento marginal (IM) para *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México. Barras verticales son los intervalos de confianza al 95%, el número arriba de las barras verticales indica el tamaño de muestra. Recuadro verde época de formación de la banda opaca. Recuadro rojo época de formación de la banda clara.

Retrocálculo de longitudes tempranas

La relación entre la LOF y el radio del corte de la espina fueron analizados asumiendo una función lineal y potencial. La figura 24 muestra los modelos ajustados a los datos. De acuerdo al criterio de r^2 el mejor ajuste fue la función potencial expresada como $y = 47.6x^{0.81}$ ($r^2 = 0.82$, $P < 0.05$, $n = 480$), la función lineal fue $y = 25.5x + 43.9$, y tuvo una correlación de $r^2 = 0.76$ ($P < 0.05$, $n = 480$). Para ambas funciones la LOF promedio por grupo de edad de cada relación, lineal o potencial, se presenta en la Tabla 6. La comparación entre la LOF promedio por grupo de edad de cada relación mostró diferencias significativas ($P < 0.05$). En consecuencia se utilizó la función potencial para el retro-cálculo de la talla a edades tempranas, ya que los valores estimados a partir de esta función no mostraron una sobrestimación de la LOF promedio por grupo de edad en comparación con los obtenidos a partir de la función lineal (Tabla 6).

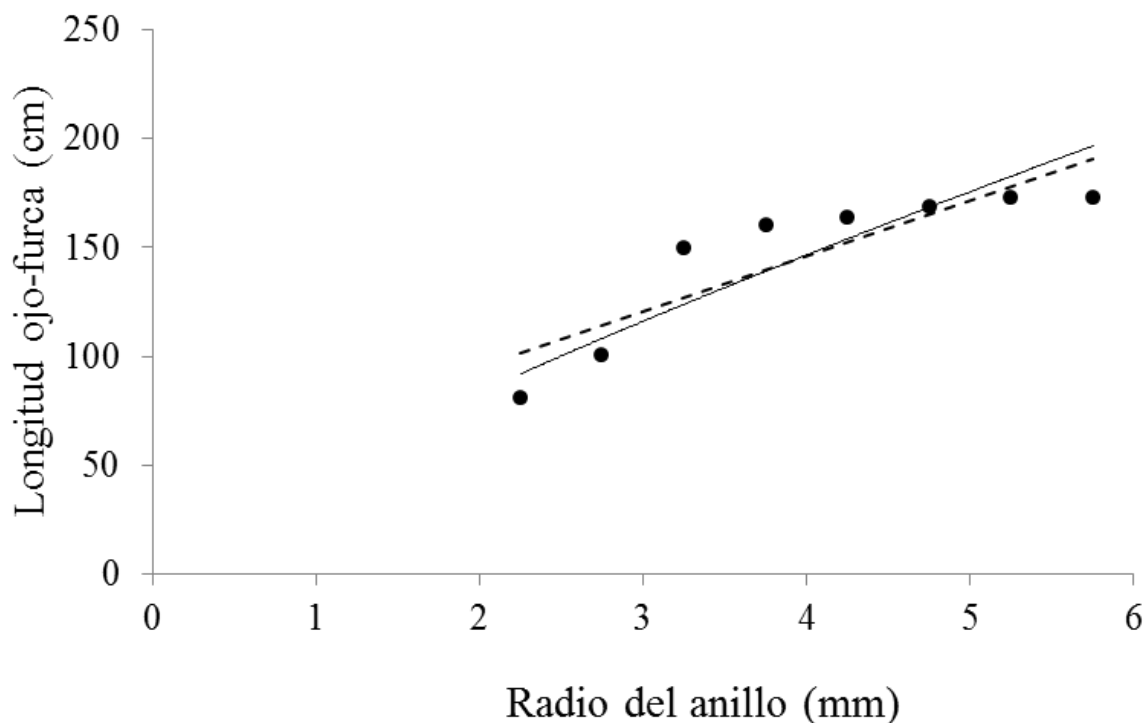


Figura 24. Relación lineal (línea punteada) y potencial (línea continua) entre la longitud ojo-furca (cm) y el radio de la espina (mm) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México.

Tabla 6. Longitud ojo-furca media retro-calculada para *Istiophorus platypterus* del Golfo de Tehuantepec, México.

Edad	Modelo Lineal (cm)	Modelo Potencial (cm)
1	88.5	65.1
2	124.8	102.8
3	148.3	125.4
4	167.3	142.4
5	176.0	151.8
6	187.8	161.3
7	194.4	164.8
8	199.0	168.7
9	206.5	172.8
10	212.4	173.8
11	223.9	187.5

Función de crecimiento

El valor de la longitud ojo-furca media asintótica (L_{∞}) mostró valores similares y lo mismo ocurrió con el coeficiente de crecimiento (k). Sin embargo, el valor de la edad hipotética a la LOF cero, fue diferente entre los modelos. El modelo de crecimiento de Schnute ajustado a los datos se muestra en la figura 25 y los perfiles de verosimilitud de los θ parámetros se presentan en la figura 26. Los valores fueron $t = 65.1$ cm (IC = 63.2 - 67.2 cm, $P < 0.05$), $\delta = 180.5$ cm (IC = 178.5 - 182.6 cm, $P < 0.05$), $\lambda = 0.21$ (IC = 0.19 - 0.23, $P < 0.05$), $\rho = 2.14$ (IC = 1.97 - 2.32, $P < 0.05$). El logaritmo negativo de verosimilitud estimado fue -29.93. Para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy ajustado a los datos se muestra en la figura 27. El contorno de confianza de los parámetros L_{∞} y k conjuntos se presentan en la figura 28. Los valores estimados de los parámetros fueron $L_{\infty} = 180.6$ cm (IC = 176 - 186 cm, $P < 0.05$), $k = 0.36$ años⁻¹ (IC = 0.34 - 0.39, $P < 0.05$), $t_0 = -0.24$ años (IC = -0.30 to -0.18, $P < 0.05$). El valor negativo de verosimilitud estimado fue de -27.31.

Elección del modelo candidato

El valor del criterio de información de Akaike (AIC) = 60.62 mostro que la función de von Bertalanffy es el mejor modelo candidato, mientras que el modelo de crecimiento de Schnute presentó un valor de AIC = 67.86.

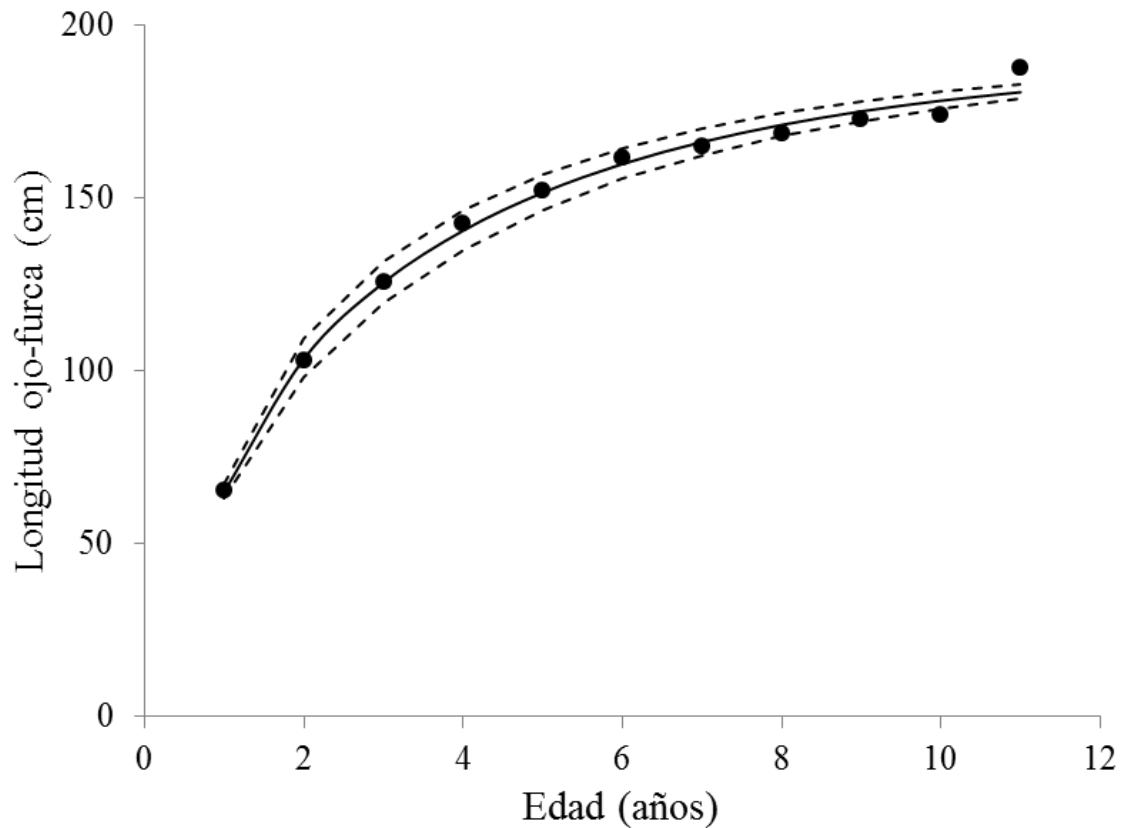


Figura 25. Modelo de crecimiento de Schnute (línea continua) ajustado a la longitud ojo-furca (puntos) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México. La línea superior e inferior punteada es el intervalo de confianza al 95%.

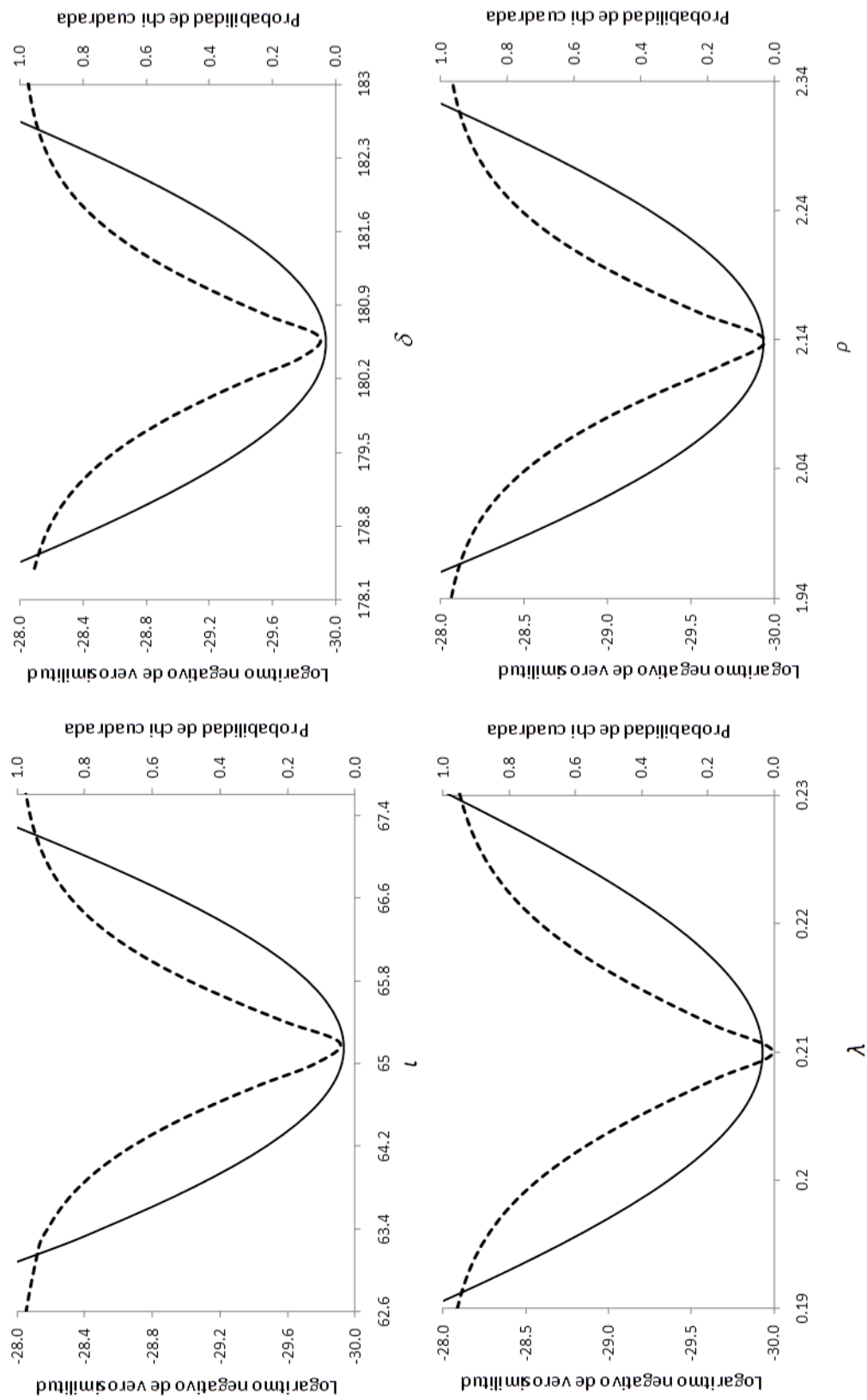


Figura 26. Perfiles de verosimilitud de los parámetros ι , δ , λ y ρ estimados del modelo de crecimiento de Schnute. La línea continua representa el perfil del logaritmo negativo de verosimilitud y la línea punteada es la probabilidad χ^2 .

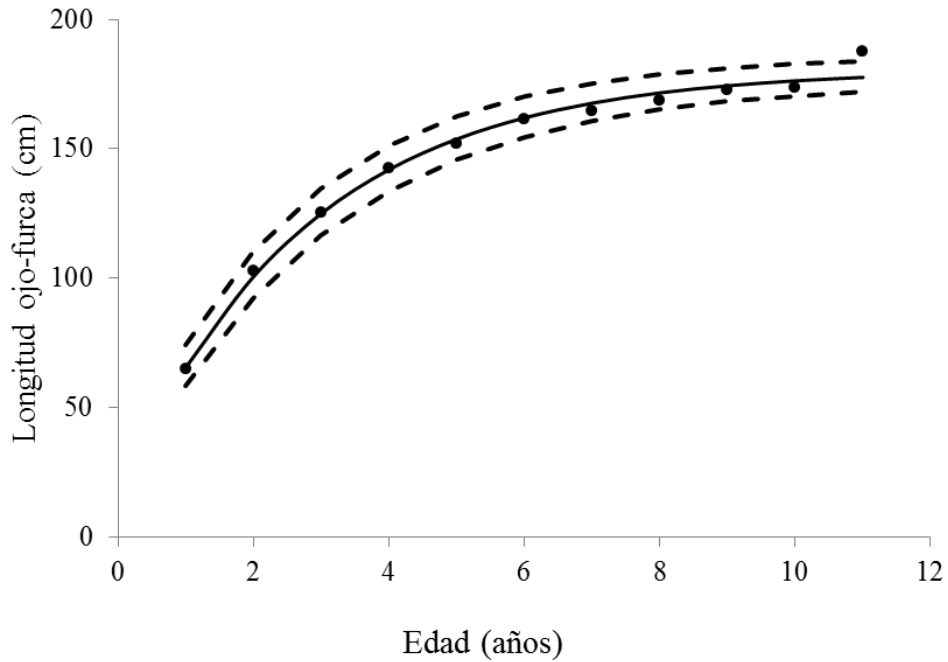


Figura 27. Modelo de crecimiento de von Bertalanffy (línea continua) ajustado a la longitud ojo-furca (puntos) de *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, México. La línea superior e inferior punteada es el intervalo de confianza al 95%.

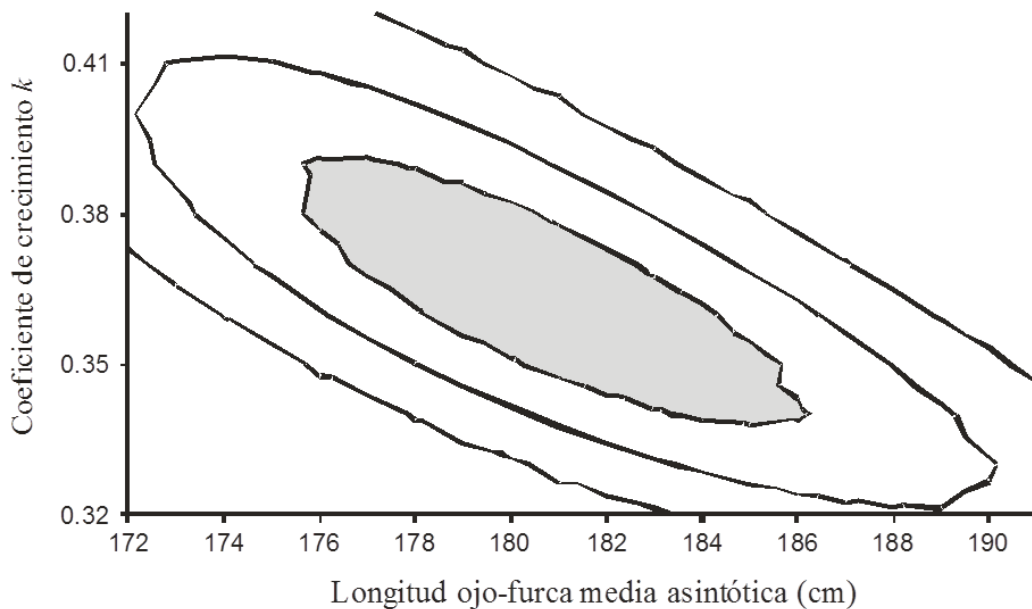


Figura 28. Contorno del logaritmo negativo de verosimilitud de los parámetros L_{∞} y k , estimados para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy. El área central en gris denota el área de confianza conjunta para los parámetros ($P < 0.05$).

Evaluación del recurso basado en la captura a la talla

La serie de datos pesqueros consistió de la distribución de frecuencias de longitud mensuales de los años 2005 al 2008 de *Istiophorus platypterus* recolectada de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca. Los datos de captura a la talla fueron agrupados en 19 intervalos de clase de 10 cm de amplitud con marcas de clase entre 54.5 a 234.5 cm. La captura se encuentra expresada en número de organismos por intervalo de talla.

Estimación de la captura a la talla

Para el ajuste del modelo, fue necesario predeterminar algunos parámetros, como la mortalidad natural (M) y la tasa de explotación (F/Z). Se estimó una tasa de mortalidad natural a partir de la relación empírica propuesta por Pauly (1980) obteniéndose un valor igual a $M = 0.55$. Los parámetros de crecimiento utilizados fueron: longitud máxima observada $L_{max} = 240$ cm y coeficiente de crecimiento $k = 0.36$ años⁻¹, de las estimaciones de crecimiento presentadas en el capítulo anterior. Inicialmente se estimaron todos los parámetros. Sin embargo, las primeras soluciones del modelo mostraron un valor de k diferente al estimado por medio de estructuras duras, por lo que se acotó al intervalo de confianza de k ($IC = 0.34$ a 0.39 años⁻¹).

En la figura 29 se presenta la distribución de frecuencias de longitud de las capturas de la flora artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca, para cada uno de los años analizados. Los intervalos de talla fueron diferentes cada año. Durante el año 2007 se presentó el intervalo de tallas más amplio (54.5 a 234.5 cm) y en el año 2008 el intervalo más restringido (114.5 a 234.5 cm). Pero en todos los años se presentó una distribución unimodal. El valor beta de la matriz de transición del crecimiento (β_{Δ}) es pequeño mostrando estrechos intervalos de talla sobre los que se ejerce la presión de pesca. Los valores de este parámetro oscilaron alrededor de 4.6, exceptuando el año 2008 en que el valor fue 0.99.

En la figura 30 se muestra la captura observada por intervalo de talla con las estimaciones de captura obtenidas a partir del procedimiento de captura a la talla bajo el conjunto de parámetros estimados para cada uno de los años.

En general las estimaciones de selectividad (s), mortalidad por pesca ($F_{l,t}$) y de la tasa de explotación ($\mu_{l,t}$) fueron consistentes durante los 4 años analizados (Tabla 9). La selectividad estimada muestra que ésta comienza a operar a los 154.5 cm (Fig. 31). Excepto en el año 2005 donde la talla en la que inició el efecto de la selectividad es a los 164.5 cm. Es a los 174.5 cm que la selectividad opera con mayor intensidad. En cuanto a la mortalidad por pesca, el algoritmo nos permitió detectar que es el intervalo de talla de 174.5 cm sobre el que se ejerce la mayor presión de pesca. También se observó un ligero incremento en la $F_{l,t}$ en las tallas más grandes. La mortalidad por pesca promedio para cada uno de los años analizados fue; para 2005: $F = 0.32$; para 2006: $F = 0.38$; para 2007: $F = 0.35$ y para 2008: $F = 0.54$. El año 2008 presentó el intervalo de tallas más restringido (114.5 a 235.4) y el volumen de captura fue similar a los años anteriores, posiblemente por ello incrementando la mortalidad por pesca de las tallas mayores (Fig. 32).

La tasa de explotación muestra que los intervalos de talla 165.4 a 184.5 cm presentan la mayor extracción, con una tasa de explotación por arriba del 50% (Fig. 33). El intervalo de talla de los 170 a 179 cm de LOF es el de mayor presión de pesca, como lo mostro la selectividad y la $F_{l,t}$. En el año 2005 y 2006 se ejerció una tasa de explotación del 62%; en 2007 y 2008 una tasa del 72%. También en estos dos últimos años hasta el intervalo de 190 a 199 cm de LOF se ejerció una tasa de explotación del 50%. Como dato adicional al intervalo con talla media de 154.5 cm de LOF se estimó una tasa de explotación promedio de 26%.

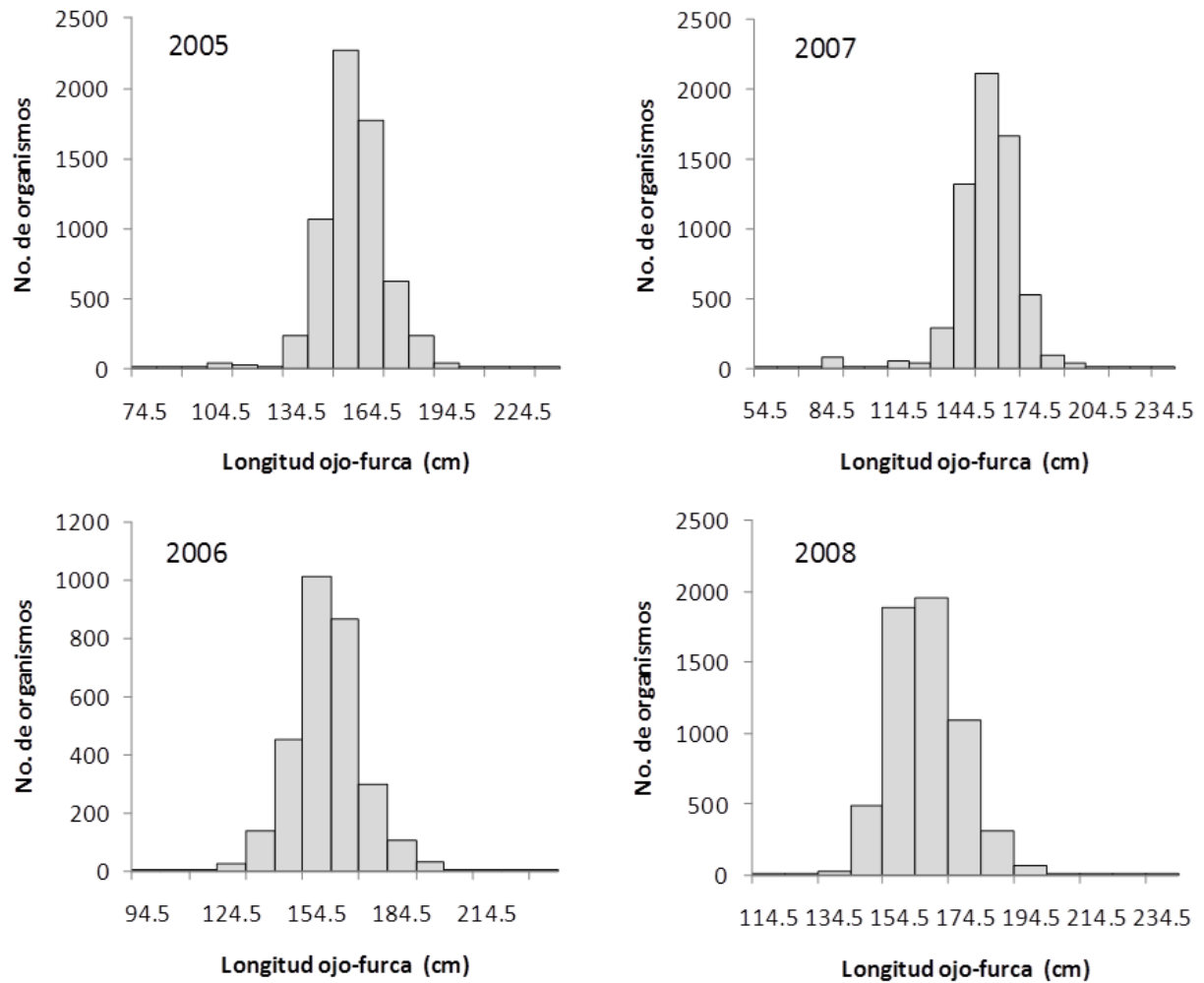


Figura 29. Estructura de tallas de las capturas de *Istiophorus platypterus* de la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.

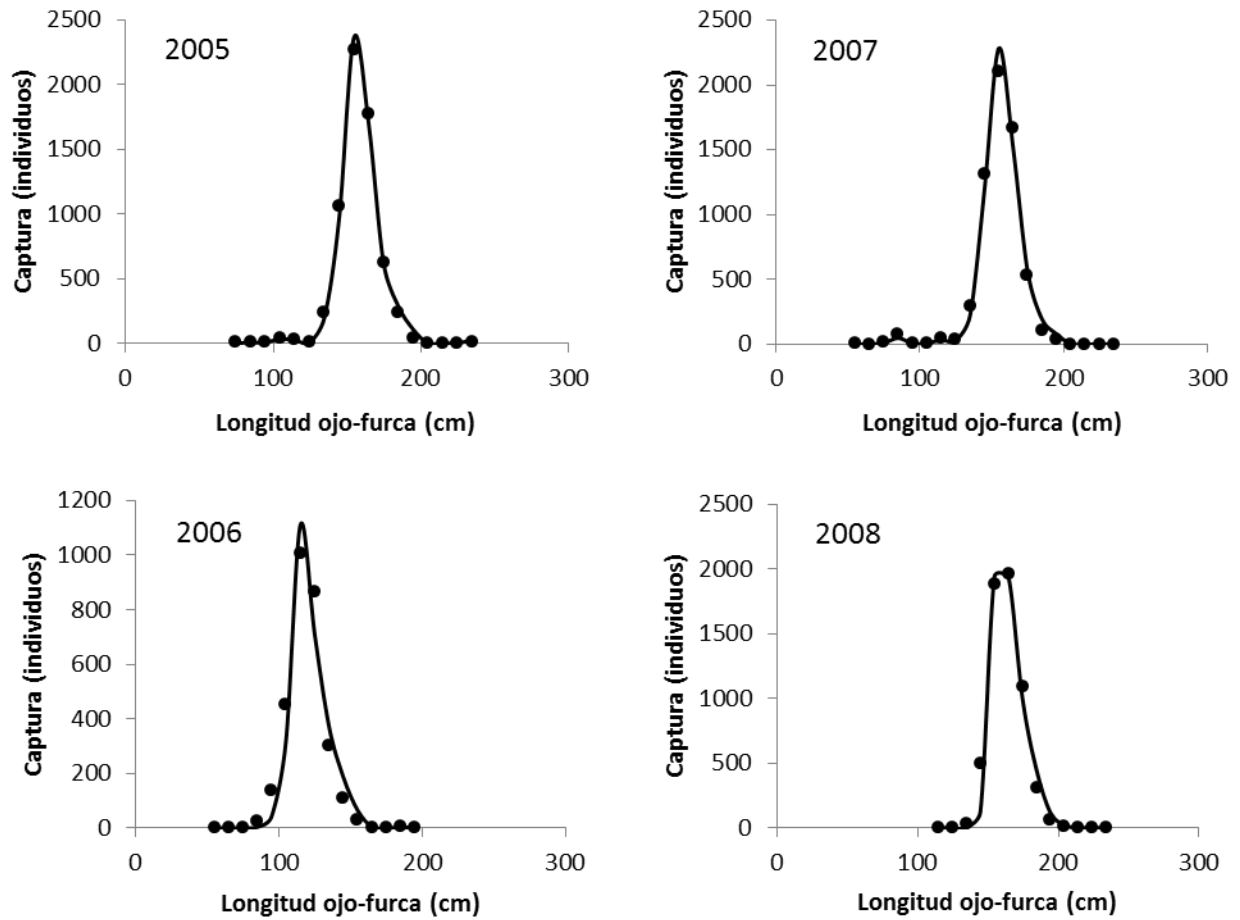


Figura 30. Modelo CASA (línea) ajustado a los datos de captura observados (puntos) de *Istiophorus platypterus* en la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.

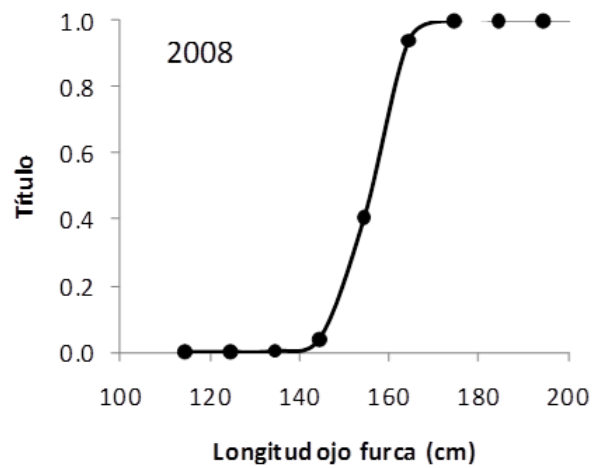
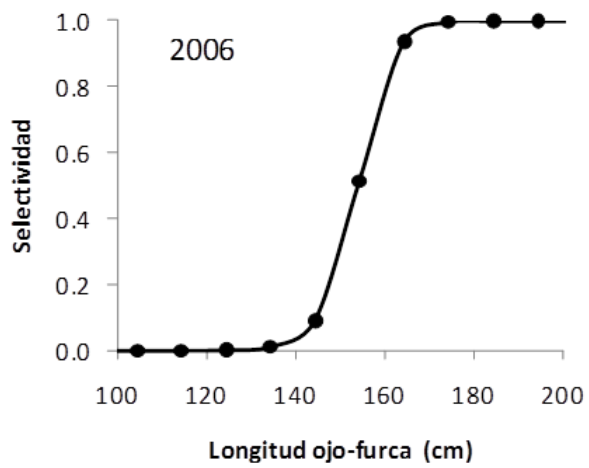
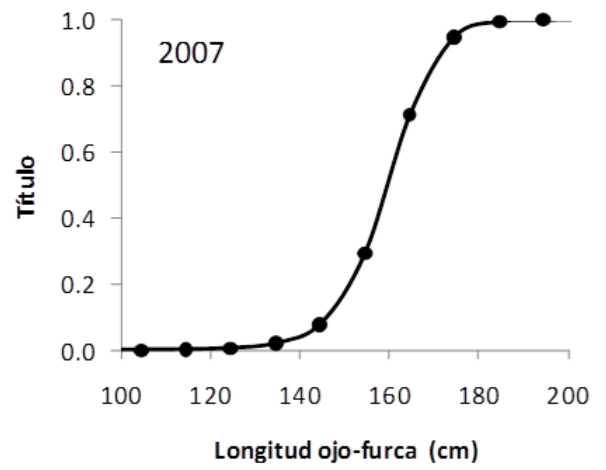
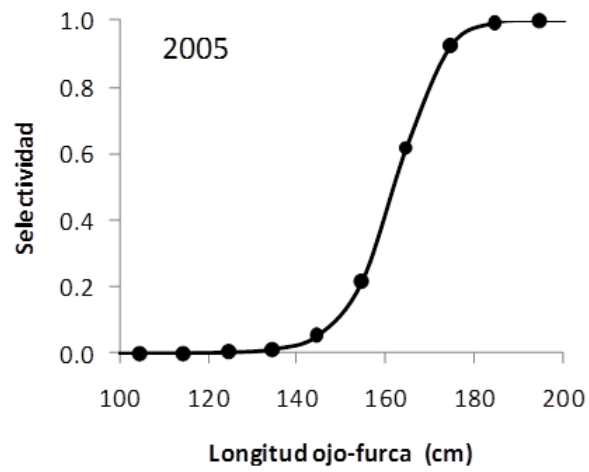


Figura 31. Selectividad de *Istiophorus platypterus* en la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.

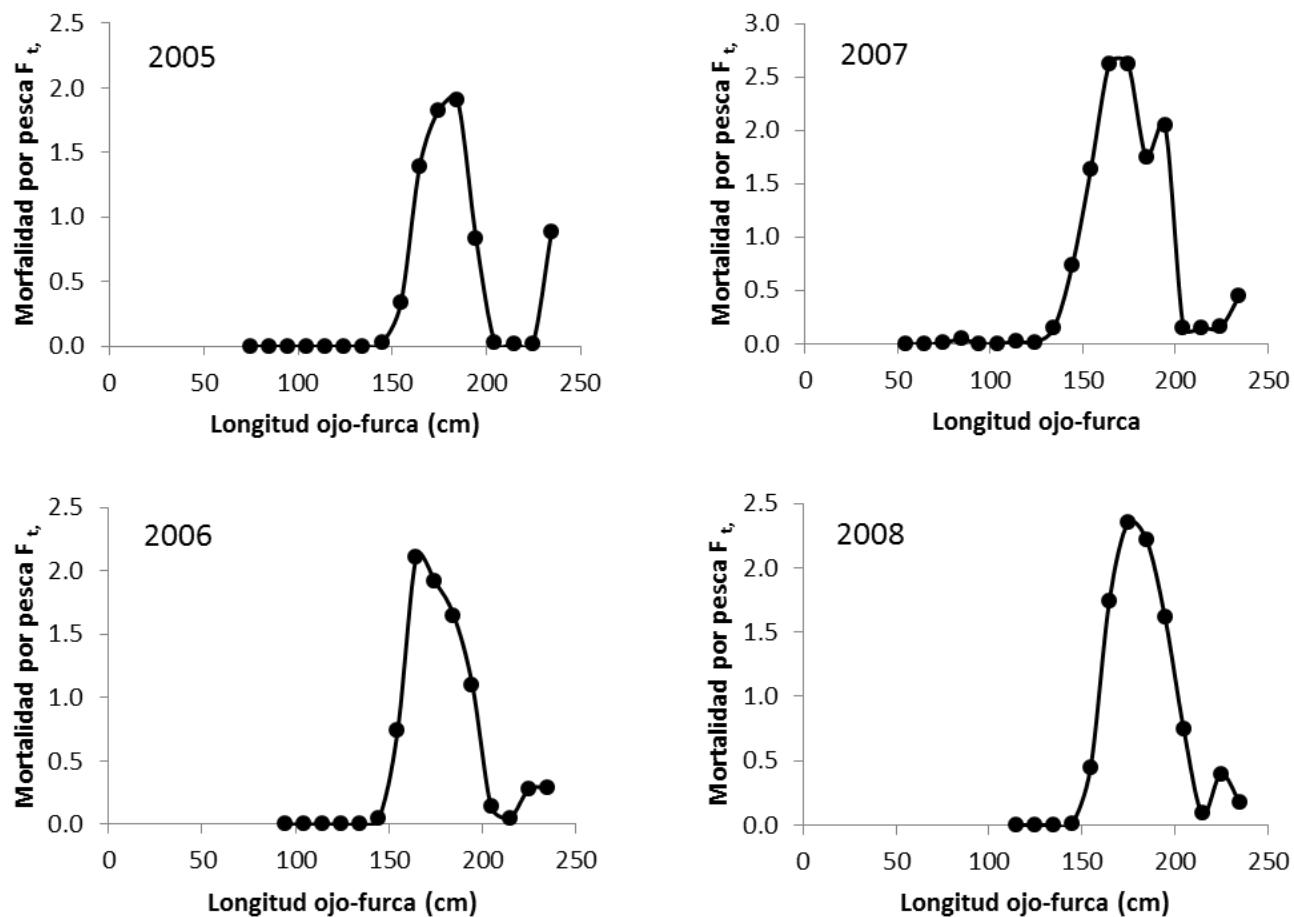


Figura 32. Mortalidad por pesca a la talla de *Istiophorus platypterus* en la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.

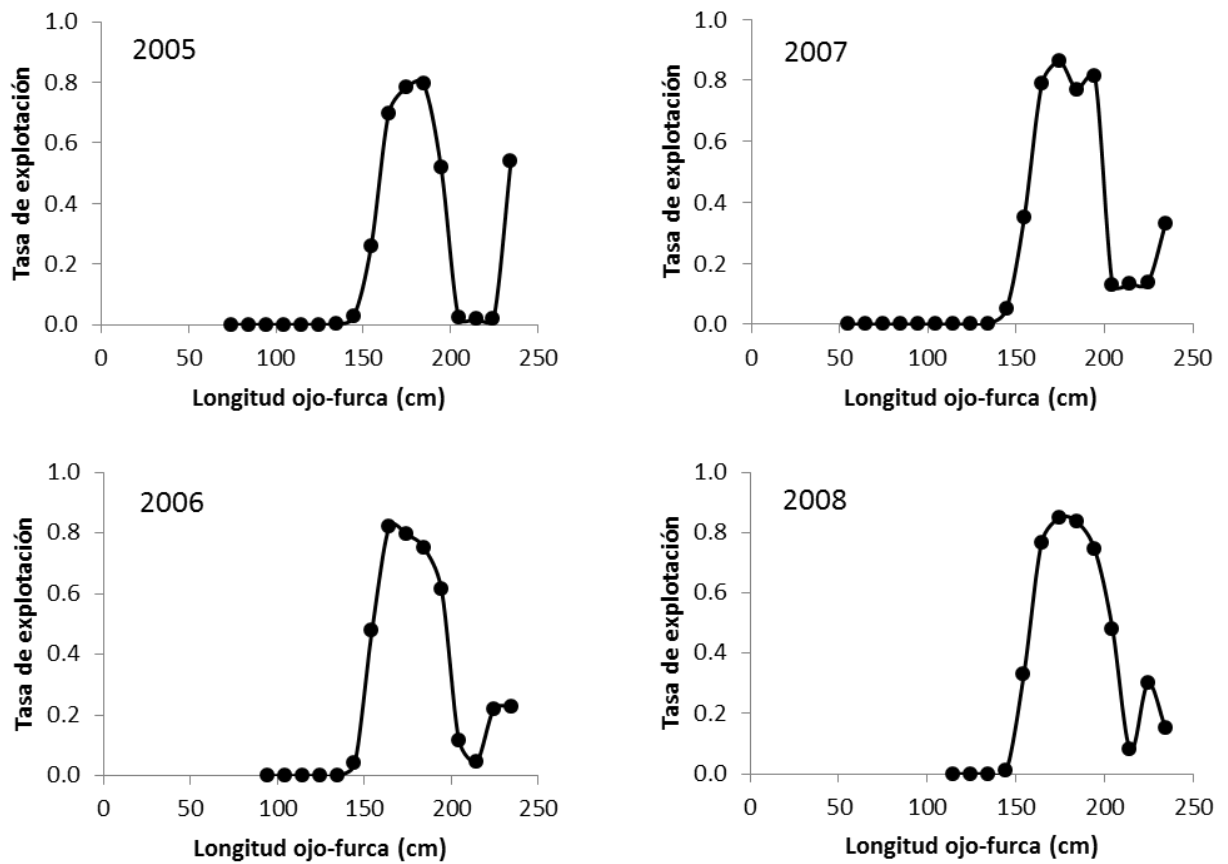


Figura 33. Tasa de explotación a la talla de *Istiophorus platypterus* en la pesca artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca en el Golfo de Tehuantepec.

DISCUSIÓN

Estructura de tallas

La estructura de tallas de los organismos capturados por las flotas artesanal y deportiva que operan en el Golfo de Tehuantepec es unimodal (con excepción de los años 2000 y 2005). La captura de organismos de menos de 130 cm de LOF es rara, por lo que se podrían considerar dos explicaciones posibles: una alta selectividad del arte de pesca o que existe una segregación por tallas. Resultados similares se han observado en la estructura de tallas del pez vela *I. platypterus* distribuido en las costas del Pacífico mexicano (Macías-Zamora, 1993; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1998; Macías-Zamora *et al.*, 2001; Cerdaneres, 2005; Ramírez-Pérez, 2005). Esta bimodalidad también se ha observado en los registros obtenidos de la flota palangrera japonesa que opera en aguas oceánicas internacionales del Océano Pacífico Oriental (Uosaki & Bayliff, 1999). La moda de peces más pequeños estuvo formada por las capturas realizadas en) aguas oceánicas internacionales entre los 0° y 40° de latitud norte y los 120° y 150° de longitud oeste del océano Pacífico Oriental. Esta información sugiere que el pez vela presenta una distribución segregada por tallas, en donde los organismos adultos, se distribuyen en aguas costeras. A este grupo de organismos tiene acceso la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca.

Para el caso de las capturas de pez vela realizadas por la flota palangrera de Brasil durante los años 1998 al 2006, La ICATT (2009) reporta que los especímenes más grandes fueron más frecuentes al oeste de los 40° de longitud oeste, así como al este de los 25° de longitud oeste (zonas costeras de América del sur y de África respectivamente). La mayor proporción del pez vela capturado fuera de la costa brasileña, entre los 25°W y 40°W, estuvo compuesta por individuos menores a 155 cm de longitud de la mandíbula inferior a la furca (MIF) (ICATT, 2009).

Para el pez vela del Golfo de Tehuantepec, se contó con información sobre el sexo para el periodo de estudio de 2005 y 2008, observándose diferencias significativas en la

proporción de sexos. Basado en las capturas comerciales de la flota de Hawaii, Strasburg (1970) reporta una distribución bimodal evidente del peso del marlín blanco *Tetrapturus albidus*, mencionando que al igual que ocurre con el marlín azul *Makaira nigricans*, las modas podrían estar relacionadas con la abundancia temporal de uno de los sexos. Por consiguiente, la proporción de sexos influye en la composición de tallas (Goodyear & Arocha, 2001). Otros ejemplos de distribución unimodal de tallas se observaron en el pez vela capturado por la flota palangrera de Brasil durante los años 1998 al 2006, Mourato *et al.* (en ICATT, 2009) reporta que los especímenes más grandes fueron más frecuentes al oeste de los 40° de longitud oeste, así como al este de los 25° de longitud oeste (zonas costeras de América del sur y de África respectivamente). La mayor proporción del pez vela capturado fuera de la costa brasileña, entre los 25°W y 40°W, estuvo compuesta por individuos menores a 155 cm de longitud de la mandíbula inferior a la furca (MIF) (ICATT, 2009), en la cual no se hizo una distinción de sexos.

En cuanto a la talla promedio del pez vela capturado por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec, se contó con una serie de tiempo de nueve años y ésta mostró una tendencia negativa, observándose una reducción de 12.4 cm durante el periodo de estudio. Un efecto inmediato de la pesca es la reducción de la talla promedio de captura, y un cambio en la estructura de tallas puede ser un indicador de sobreexplotación (Shin *et al.*, 2005). Sin embargo, al revisar la información registrada de 1990 al 2009 por el programa de observadores de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (<http://www.iattc.org/Catchbygear/IATTC-Catch-by-species1.htm>), se observa que existen cambios anuales significativos, sobre todo en 1990 y 1991, mientras que durante el resto del periodo, presenta una variación en las tallas registradas año con año, sin una tendencia específica que indique un decline en la talla promedio de los organismos capturados. Es posible que los cambios en la talla promedio del pez vela sea un reflejo de la fuerza de una clase anual, considerando que los cambios en las frecuencias de tallas de las capturas han sido utilizados como un indicador de cambios en la estructura de edades del stock (Goodyear & Arocha, 2001).

Mensah (1994) en su reporte de los resultados del programa de monitoreo intensivo por parte de la ICCAT durante los años 1989 a 1991, menciona que las capturas de pez vela en la pesca artesanal de Ghana se presentaron en los mismos intervalos de tallas, considerando con ello que la presión de pesca sobre el stock es adecuada ya que la tasa de reclutamiento es similar a la tasa de explotación. Marcano *et al.* (2001) reportan que el tamaño promedio del pez vela *I. platypterus*, capturado por la flota artesanal venezolana, muestra cambios interanuales significativos durante el periodo de 1991 a 1999, pero las tendencias observadas no manifiestan un patrón definido de cambios en el tamaño durante el período de estudio. En la pesca artesanal de Costa de Marfil durante el periodo de 1988 a 2006, N'Da & Dedo (2009) reportan una talla promedio de las capturas de 176 cm de longitud entre la mandíbula inferior y la furca (LMIF), mencionando que durante 1988 a 1995 la talla promedio fue casi la misma y posteriormente, año con año se presentan amplias variaciones.

En otras especies de picudos también se han observado cambios en la talla y peso promedio. Para las especies aguja azul *Makaira nigricans* Lacepède, 1802 y aguja blanca *Tetrapturus albidus* Poey, 1860, distribuido en las costas de Venezuela, Marcano *et al.* (2001) aunque reportan variaciones, no observan un patrón definido en los cambios en el tamaño de los peces durante el período de 1991 a 1999. En el caso del marlín rayado *Tetrapturus audax* (Philippi, 1887), capturado por la flota deportiva de Nueva Zelanda de 1925 al 2003, Kopf *et al.* (2005) reportan que el peso promedio de esta especie declinó progresivamente de 6 a 9 kilogramos por cada 20 años, no obstante en el último año (2003) observaron una inusual presencia de organismos adultos, incrementando significativamente la talla promedio de las capturas. Sin embargo, las fluctuaciones no las consideran de particular relevancia puesto que la talla promedio no decae por debajo de la longitud de primera madurez (Baum & Myers, 2004; Kopf *et al.*, 2005). En este sentido, la reducción de la talla promedio del pez vela en el Golfo de Tehuantepec (160 cm LOF, talla promedio mínima estimada), no decae por debajo de la longitud de primera madurez que se reporta para esta misma área (150.2 cm LOF).

La falta de consistencia en las tendencias de la talla promedio en las especies de pico hace que se reduzca la utilidad de la talla como un indicador de la presión de pesca (ICCAT, 2009). Como se mencionó anteriormente, el incremento de la mortalidad por pesca provoca el descenso de la talla promedio de las capturas, sobre todo si son los organismos más grandes sobre los que se ejerce mayor presión de pesca (Shin *et al.*, 2005; Kopf *et al.*, 2005; Goodyear & Arocha, 2001). Sin embargo, aparentemente en las especies de pico no se refleja la mortalidad por pesca en las tallas de captura. La tasa de crecimiento que presentan éstas especies es tan alta, que en los primeros años de vida ya han alcanzado más del 50 % de su longitud media asintótica (L_{∞}). En el caso del pez vela, la L_{∞} estimada en el presente trabajo fue de 180.6 cm de LOF, alcanzando más del 80% de su L_{∞} en los primeros 3 años de vida, y estos grupos de edad representaron solo el 4.7% de las capturas. El marlín azul *M. nigricans* antes de los dos años de vida ya ha alcanzado el 90% y 67% de su L_{∞} en machos y hembras respectivamente, (Prince *et al.*, 1991). El marlín rayado *Tetrapturus audax* alcanza más del 75% de su L_{∞} en sus primeros tres años de vida, estos grupos de edad (1, 2 y 3) en conjunto, solo representaron el 1.6% de las capturas (Melo-Barrera *et al.*, 2003, Melo-Barrera & Félix-Uraga, 2004). Goodyear (2002) estima que para reducir la talla promedio de captura en más del 20%, en el caso de especies que presentan una gran longevidad, se requeriría que una gran proporción de las capturas estuviera constituida por organismos de menos de un año de edad. Por tanto, la tasa de crecimiento que presenta el pez vela, favorece que sean organismos de talla grande (aprox. 150 cm de LOF) los que componen las capturas, y sea difícil comprobar que la pesca cambie la estructura de tallas del stock.

Índice de abundancia relativa

Beardsley & Conser (1981) recomiendan el uso del número de anzuelos o el tiempo efectivo de pesca como unidad de esfuerzo en las estimaciones de índices de abundancia de picudos, debido a que existen diferencias en el poder de pesca de las embarcaciones, en el tiempo utilizado en la búsqueda del recurso, en el tiempo invertido en el tendido y recuperación de los artes de pesca, y que estas diferencias pudieran causar un sesgo al momento de la estimación de los índices de abundancia. En el caso de la pesca artesanal de la costa de Oaxaca, el tiempo que utilizan para dirigirse al área de pesca es relativamente corto, ya que los viajes son diarios y de poca duración. Por otro lado se asume que las prácticas de pesca son suficientemente homogéneas que permiten considerar al viaje de pesca como unidad de esfuerzo (Ramos-Carrillo *et al.*, 2007; Arocha *et al.*, 2009).

Se observó una marcada estacionalidad en las tendencias de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) lo que sugiere que la CPUE estimada, es un indicador de la abundancia relativa del reclutamiento al área de pesca. El pez vela es la más costera de las especies de pico, lo que ha permitido que se le explote incluso de forma artesanal (Arocha *et al.*, 2009; Joanny *et al.*, 1995) como ocurre en el Golfo de Tehuantepec. En esta zona, la temporalidad de las capturas ha sido relacionada con la temperatura superficial del mar y con las precipitaciones registradas en Puerto Ángel, Oaxaca (Cerdenares, 2005). En dicho trabajo se menciona que las mayores capturas ocurren justo después de los picos de mayor temperatura y de mayor precipitación pluvial. Son diversos los estudios que tratan sobre la relación de la temperatura y la distribución de especies de pico (Squire, 1985; Santana-Hernández, 2001). Sin embargo, esto no es suficiente para cuantificar su hábitat (Prince & Goodyear, 2006).

El Golfo de Tehuantepec durante la mayor parte del año está influenciado por la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). Esta corriente se caracteriza por un núcleo de alta temperatura ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y baja salinidad ($<33.8\text{ up}$). Por otro lado, de enero a marzo la CCCR no penetra en el Golfo de Tehuantepec y se registra una fuerte salida

de agua (Wriki, 1965). Es en esta época, que la zona se encuentra bajo la influencia de los vientos nortes o denominados “Tehuano” que provocan el surgimiento de aguas frías (Blackburn, 1962), con descensos en la temperatura de hasta 10°C (Barton *et al.*, 1993). Los chorros de agua fría que emergen en la costa eventualmente desarrollan giros anticiclónicos de mesoescala (100-500 km) que se propagan hacia el oeste. El forzamiento producido por el viento “Tehuano”, aparentemente interrumpe el chorro costero de la CCCR (Reyes-Hernández & Murad, 2005).

Es así, que la disponibilidad del pez vela *I. platypterus* para la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca, pudiera estar relacionada con la presencia de la CCCR en el Golfo de Tehuantepec y que la interrupción de la misma en los primeros meses del año por la presencia de Tehuanos, se ve reflejada en la disminución o ausencia de la especie en las capturas. La surgencia provocada por los vientos “Tehuano” causa un descenso de la temperatura y se ha observado una zona baja de oxígeno, en el área comprendida entre Huatulco y Salina Cruz principalmente (Vázquez-Gutiérrez *et al.*, 1998), característica que se considera limitante en la distribución de la especie (Prince & Goodyear, 2006).

En las aguas de Ghana donde se explota el recurso de los peces de pico con redes de enmalle, Mensah (1994) reporta amplias fluctuaciones en las capturas de pez vela (principal constituyente de las capturas), marlín azul, pez espada y marlín blanco, por cada viaje de pesca que realizó la flota artesanal de Ghana de 1984 a 1991. Estas variaciones muestran un patrón estacional, que a diferencia de las tendencias que se presentan en el Golfo de Tehuantepec, las menores capturas las reporta para los meses de verano, dada su ubicación geográfica en el hemisferio sur. Este mismo autor considera que, dada la eficiencia con que los pescadores realizan su actividad, las capturas realizadas por esta flota pueden ser un buen indicador del estado del stock y de la disponibilidad de las especies a los equipos de pesca. Con base en lo anterior y que en las variaciones de las capturas por viaje subyace un decremento en las capturas totales de esas cuatro especies (pez vela, marlín azul, pez espada y marlín blanco), considera que estos recursos están siendo fuertemente explotados.

En la Guaira, Venezuela, existe una flota de 35 embarcaciones que opera durante todo el año y captura picudos utilizando redes de enmalle (Marcano *et al.*, 2000). En esta región se ha dado seguimiento al recurso de las especies de pico desde 1991 a la fecha (2011) y donde el pez vela es el más representativo en las capturas (Alió *et al.*, 1994; Marcano *et al.*, 2005; Arocha, *et al.*, 2009). En esa zona se reporta una fuerte estacionalidad en las capturas de pez vela pero muy poca en el esfuerzo de pesca. Las mayores capturas se reportan para los meses de abril a octubre (Arocha, *et al.*, 2009), tendencia similar a lo reportado en el presente trabajo.

En el presente trabajo se consideró el hecho que la CPUE presenta una distribución log normal, lo que permitió obtener estimadores estadísticos insesgados, lo que a su vez facilitó observar la tendencia que presentó la información. Por otro lado esto hace comparable la CPUE con las estimaciones realizadas por Arocha *et al.* (2009). Estos autores realizaron un análisis de la tasa de captura, donde asumen un error log-normal de la CPUE y realizan una estandarización por medio de modelos lineales generalizados (GLM), reportan que durante el periodo de 1991 a 2007 las tasas de captura de la flota artesanal de la Guaira, Venezuela, fue variable pero no muestra una tendencia clara. Asimismo, consideran que la uniformidad de los equipos de pesca y de las embarcaciones utilizadas no influyen en la variación de la CPUE.

Para el caso de la pesquería de baja escala del pez vela en aguas de Senegal se ha reportado que la época de mayores capturas son los meses de junio a noviembre (Diatte *et al.*, 2010). En esa región la pesca de pez vela se realiza con diversos equipos de pesca (redes de enmalle, curricán y línea de mano. Diatte *et al.* (2010) mencionan que las tendencias de la CPUE nominal y estandarizada son similares mostrando un descenso en la abundancia durante el periodo de 1989 a 2006. Adicionalmente, comentan que la variabilidad interanual es causada por la migración hacia el norte de Senegal, asociada con cambios en la temperatura superficial del mar. Estos autores sugieren que las migraciones estacionales del pez vela están asociadas al periodo y extensión de la migración de *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), principal presa del pez vela, la que a su vez fue relacionada a la fuerza de la surgencia estacional en la

zona. Más al sur, en Costa de Marfil, durante la época de surgencia, el pez vela desaparece completamente de las capturas (Joanny *et al.*, 1995). La evolución anual de la CPUE nominal de la pesca artesanal en Costa de Marfil, muestra durante el tiempo del estudio (1988 a 2006), fases de estabilidad y periodos relativamente cortos de variación. Esas tendencias de la CPUE fueron asociadas por N'Da & Dedo (2009) a grandes fluctuaciones de las capturas anuales y un aumento creciente en el esfuerzo de pesca. En contraste, cuando se realizó la estandarización de la CPUE, este índice mostro una marcada tendencia a la baja. Para estos últimos casos las diferencias en cuanto al método utilizado para la descripción de la CPUE dificultan su comparación con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Evaluación reproductiva

Con base en análisis histológico se identificaron cuatro estadios del desarrollo gonádico de *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec, estos a su vez presentan ocho subestadios de los ovocitos y dos estructuras postovulatorias. Adicionalmente se identificó un nuevo estadio definido como, desovado. La época reproductiva fue identificada durante los meses de verano y principios de otoño. Las estimaciones de FDTO muestran que este análisis puede ser utilizado como una herramienta para la evaluación de madurez. Finalmente, la LM estimada para *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec es de 150.2 cm LOF.

En el presente trabajo se identificaron cuatro estadios, estos fueron: crecimiento primario o previtelogénesis, crecimiento secundario o vitelogénesis, crecimiento terciario o maduración y por último desove o fin del proceso de vitelogénesis. Adicionalmente en este trabajo se identificaron subestadios de los ovocitos específicos para *Istiophorus platypterus*. En el estadio de previtelogénesis descrito por De Sylva & Breder (1997) se identificaron tres subestadios de ovocitos definidos como a) ovocito tipo nucléolo cromatina (19.8 μ m), b) ovocito perinuclear temprano (41 μ m), y c) perinuclear tardío (70 μ m). En el estadio de crecimiento secundario, se identificaron tres subestadios de los ovocitos a) alvéolo cortical (111 μ m), b) inclusión lipídica (160 μ m) y c) vitelogénesis temprana (197 μ m). El estadio denominado maduración, estuvo caracterizado por la presencia de ovocitos en vitelogénesis tardía (289 μ m). Los ovarios definidos como en desove contuvieron óvulos completamente maduros, se observaron ovocitos hidratados y en ovulación (328 μ m). Finalmente se observó un último estadio que se definió como desovado, el cual estuvo caracterizado por la presencia de ovocitos en previtelogénesis. Estos ovocitos son similares a los observados en ovarios en crecimiento primario de madurez, sin embargo, en los ovarios desovados se observaron simultáneamente estructuras postovulatorias tales como folículos postovulatorios y ovocitos en atresia.

Hernández & Ramírez (1998) también reportaron cinco estadios de madurez, sin embargo, las características de los ovocitos en cada estadio de madurez no fue descrito. La descripción del estadio cinco, explican que corresponde al grupo más avanzado de ovocitos y estos se encontraron sin vitelo, con la presencia de abundantes ovocitos degenerados en diferentes estadios de atresia. El diámetro reportado para los ovocitos sin vitelo fue de 70.3 μm . Comparativamente, se describió un estadio análogo denominado estadio VI o desovado el cual mostró evidencias de atresias, folículos postovulatorios y ovocitos en tres subestadios. Estos subestadios mostraron tres diámetros diferentes, 19 μm para los ovocitos nucléolo cromatina, 41 μm para los ovocitos perinucleolares tempranos y 64 μm para los perinucleolares tardíos.

De Sylva & Breder (1997) describieron los estadios de madurez de los ovarios y subestadios de los ovocitos, de peces de pico del Atlántico norte, peces pertenecientes particularmente de la familia Istiofhoridae. Estos estadios fueron similares a los observados en las gónadas del pez vela capturado en del Golfo de Tehuantepec.

El análisis del grupo de ovocitos más avanzado (GOMA) mostró incremento consecutivo en el diámetro, en función del estadio de desarrollo de los ovarios. Sin embargo, como ya fue descrito en párrafos anteriores, los diferentes estadios presentaron diferentes subestadios de los ovocitos. Desde el estadio de crecimiento primario hasta crecimiento terciario fue posible identificar siete subestadios de ovocitos. En los ovarios en estadio V (desove) los ovocitos con diámetro entre 120 y 250 μm estuvieron ausentes. Esto significa que, de acuerdo a la distribución de FDTO, los ovocitos del tipo alveolo cortical, inclusión lipídica, en vitelogénesis temprana y en vitelogénesis tardía no fueron observados en el estadio de desove. Sin embargo en el estadio VI (desovado) fue baja la frecuencia en que se observaron los ovocitos con un diámetro entre 120 y 250 μm . Lo que podría estar indicando el inicio del desarrollo de un nuevo grupo de ovocitos que pudiesen ser desovados (Jolley, 1977).

La combinación de diferentes métodos tales como el GOMA y el FDTO permitió en el presente trabajo, la comparación del diámetro promedio de los ovocitos observados.

Merret (1970) y Eldridge & Wares (1974) utilizaron como criterio de asignación de madurez reproductiva para *I. platypterus*, ovocitos con un diámetro mayor a 0.3 mm, los cuales presentaban granulos de vitelo y la formación del corión. Arocha & Bárríos (2009) utilizaron el FDTO como criterio para la asignación de madurez para hembras de *Tetrapturus albidus*. Ellos reportaron que las hembras con una FDTO mayor a 600 μm fueron consideradas como hembras que podrían desovar durante la época reproductiva en que fueron observadas. Chiang *et al.* (2006) en aguas de Taiwan estimaron una probabilidad de 50% de madurez en hembras de pez vela, que presentaron ovocitos con un diámetro mayor a 348 μm . Al comparar el GOMA y FDTO, se observa que el FDTO muestra el proceso de maduración de las hembras. En algunas ocasiones es difícil contar con muestras adecuadas para el análisis histológico, por lo que la evaluación a través de la FDTO puede ser utilizada para estimar la actividad reproductiva de las hembras de *I. platypterus*. Jolley (1977) encontró, que en la fase de madurez hay casi una completa ausencia de ovocitos en estadio III y IV. Por ello, la FDTO del estadio de madurez V no muestra ovocitos del tipo vitelogénesis temprana o tardía. Los ovocitos que alcanzan el estadio III es muy probable que lleguen al final del proceso de postvitelogénesis y puedan ser desovados.

La proporción de sexos mostró una variación estacional, con una predominancia de hembras durante el segundo trimestre del año. Hernández & Ramírez (1998) mencionan que la proporción de sexos en *I. platypterus* presentó variaciones estacionales y regionales en el noroeste del Pacífico mexicano. También sugieren que la proporción de sexos cambia durante la época reproductiva, durante la cual se observa una predominancia de machos en esta región. Chiang *et al.* (2006) no observaron cambios en la proporción de sexos de *I. platypterus* distribuido en el este de Taiwan, sin embargo, fue dominante la presencia de machos durante todo el año.

La variación estacional y regional en la proporción de sexos ha sido observada en otras especies de pico, como el marlín blanco (Arocha & Bárríos, 2009), marlin azul (Shimose *et al.*, 2009) y pez espada (De Martini *et al.*, 2000). Estos cambios en la proporción de sexo pueden estar relacionados con la migración individual con fines reproductivos o de

alimentación (De Martini *et al.*, 2000). La alta proporción de machos puede deberse al comportamiento reproductivo, donde una hembra es cortejada por varios machos (Hernández & Ramírez, 1998; Nakamura 1985).

A partir del análisis histológico, se designaron como hembras que alcanzaron la madurez a aquellas con ovarios en estadio III, IV, V y VI y se observó que el pico del índice gonadosomático (IGS) fue durante los meses de junio y septiembre en el Golfo de Tehuantepec. Las estimaciones promedio del IGS fueron menores a 3, sin embargo, ovarios con un IGS estimado de 1.6 y 2.3 correspondieron a hembras maduras o desovadas. Con el criterio utilizado por Hernández & Ramírez (1998), ellos concluyen que un IGS mayor de 3 fue útil para identificar a las hembras maduras. Ellos designaron como hembras maduras únicamente aquellas que presentaban ovocitos con vitelo y algunas veces hidratados. Sin embargo, en el presente trabajo se utilizó adicionalmente la presencia de ovocitos en otros subestadios de desarrollo como, vitelogénesis, maduración y postvitelogénesis. Se utilizó el análisis histológico, GOMA, FDTO e IGS para determinar el periodo reproductivo del pez vela *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec. Se observó que el IGS se ve afectado por la composición de talla en la muestra y el criterio de designación de madurez. Chiang *et al.* (2006) explica que el diámetro de los ovocitos calibrados con el análisis histológico es un indicador más exacto. El IGS se puede ver afectado por la talla del pez y puede no ser un indicador adecuado para diferenciar a las hembras maduras pero reproductivamente inactivas (estadio VI) de las hembras que aún no han alcanzado la madurez sexual (estadio 1).

Se estimó una LM de 150.2 cm LOF (IC = 140.5 – 159 cm) para *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec. Esta es la primera estimación de LM en el Golfo de Tehuantepec, utilizando un modelo logístico para su determinación. Nakano & Bayliff (1992) y Uosaki & Bayliff (1999) consideraron que las hembras de *I. platypterus* en el Pacífico este podrían alcanzar su madurez a una talla entre 121 y 140 cm LOF. Este criterio no fue validado con análisis histológico, sin embargo, ellos basaron su idea con el uso de un valor del IGS mayor o igual a 3. Eldridge & Wares (1974), utilizaron datos dependientes de la pesca deportiva de *I. platypterus* del noroeste del Pacífico mexicano

y estimaron una LM entre 160 y 165 cm LOF. Estos autores no utilizaron un modelo logístico y basaron su criterio en el diámetro de los ovocitos el cual debía ser mayor o igual a 3mm. En la misma región y utilizando información de la pesca deportiva, Hernández & Ramírez (1998) estimaron una LM = 175 cm LOF.

En aguas de Taiwan, Chiang *et al.* (2006) reporta una LM igual a 146 cm LOF, utilizando como criterio de madurez el GOMA, basado únicamente en ovocitos en vitelogénesis, valor que puede considerarse equivalente al estimado en el presente trabajo ya que se encuentra dentro del intervalo de confianza estimado. Mourato *et al.* (2009) y Arocha & Marcano (2006) para *I. platypterus* capturado en Brasil y Venezuela, estimaron una LM de 154.9 y 180.2 cm de longitud de la mandíbula inferior a la furca respectivamente, basados en una escala morfocromática de los ovarios. En el presente estudio de manera comparativa, se estimó una LM igual a 150.2 cm LOF en el Golfo de Tehuantepec fue menor a la estimada en el noroeste del Pacífico mexicano. Valores similares de LM fueron estimados para el Golfo de Tehuantepec, aguas de Taiwan y Brasil. El origen de las muestras, a partir de las capturas podrían explicar las diferencias en las estimaciones de LM. En el noroeste del Pacífico mexicano, el pez vela fue capturado por la flota deportiva o durante torneos de pesca, donde el objetivo es obtener capturas de talla considerable, en consecuencia la selectividad es un factor relevante para la captura de organismos grandes. Mientras que en el Golfo de Tehuantepec las muestras fueron obtenidas de la pesca comercial y la composición de tallas de los organismos capturados es más amplia que la observada en el noroeste del Pacífico mexicano. La similitud en las estimaciones de la LM para *I. platypterus* capturado en Taiwan, Brasil y Golfo de Tehuantepec puede atribuirse a que en estas tres regiones los datos fueron obtenidos de la pesca comercial en donde la selectividad es diferente de aquella utilizada en la pesca deportiva dado que en la pesca comercial capturan organismos de diferentes tallas y no solo los más grandes.

La estimación de la longitud de primera madurez (LM) o la edad de madurez (EM), es importante porque son variables necesarias para estimar la biomasa del stock-desovante en modelos estructurados por talla o edad (Deriso *et al.*, 1985). Este mismo

indicador se requiere para la estimación de puntos de referencia biológicos, los cuales son utilizados en la determinación del estado de la población (Hilborn & Walters 1992).

Arocha & Bárríos (2009) explicaron que la estimación adecuada del ciclo reproductivo requiere de correctos indicadores del estadio de madurez y solo considerar muestras provenientes de la época reproductiva identificada. Es por ello que la utilización de técnicas histológicas y la evaluación microscópica del GOMA y FDTO en los ovarios de *I. platypterus* para la evaluación de la madurez y el muestreo durante la época reproductiva, reducen la posibilidad de confundir hembras desovadas, con hembras inmaduras o inactivas, lo que a su vez favorece una adecuada estimación de la longitud de primera madurez.

Edad y crecimiento

Las muestras de pez vela analizadas, corresponden a un amplio intervalo de tallas expresado en longitud ojo-furca (LOF) (55 a 240 cm), que se considera adecuado y suficiente para la estimación de la edad y el crecimiento de *I. platypterus* en el Golfo de Tehuantepec. Los anillos de crecimiento se forman anualmente en los meses de septiembre a diciembre. Se observaron 11 clases de edad (1 a 11 años). Las clases de edad 5 y 6 fueron predominantes en las muestras. Los datos de edad de *I. platypterus* son suficientemente informativos para describir el patrón de crecimiento a partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

El análisis del incremento marginal (IM) muestra dos periodos, el primero de marzo a agosto, caracterizado por los valores más altos del IM y el segundo periodo mostro los valores más bajos del IM durante los meses de septiembre a diciembre. Es en el segundo periodo que inicia la formación de un nuevo anillo, en consecuencia, el análisis del IM muestra que un anillo es formado anualmente en el caso de *I. platypterus*. En el Golfo de California Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996) encontraron para *I. platypterus* un patrón de crecimiento anual. Estos autores realizaron un análisis mensual del tipo de borde (opaco o Hialino) observado en los cortes transversales de la cuarta espina dorsal. El crecimiento anual fue observado en los meses de verano. Comparativamente se encontró el mismo patrón en la formación de los anillos de crecimiento para esta especie en el Golfo de Tehuantepec. Chiang *et al.* (2004) encontró para *I. platypterus* de Taiwan los valores mínimos de IM durante los meses de septiembre a noviembre para los machos y de octubre a noviembre para las hembras. Ehrhardt (1992) comenta que si los anillos que se observan en las secciones transversales de las espinas son válidos indicadores de la edad, entonces éstos deben formarse en un periodo de tiempo corto y en la misma época cada año.

Se utilizaron dos modelos, lineal y potencial para el retro-cálculo de tallas a edades tempranas. Se encontró que la función potencial en comparación con la lineal describió mejor la relación entre el radio de los cortes de las espinas y la LOF del pez, utilizando

como criterio de selección el coeficiente r^2 . Este procedimiento permitió la corrección del 21% de las edades; incrementando de 9 grupos asignados por lectura directa de los cortes, a 11 grupos de edad por retro-cálculo. La LOF retro-calculada a partir de la relación lineal y potencial fue diferente entre sí. Ehrhardt (1992) al analizar el crecimiento de *Xiphias gladius* explicó que la formulación lineal propuesta por Lee (1920) sobre estima la longitud retro-calculada de los individuos pequeños (edad 1 y 2) y simultáneamente subestima la longitud retro-calculada de 3 a 8 años de edad (individuos grandes). En el presente trabajo, las estimaciones de LOF por grupo de edad estimadas por retro-calculo, muestran una sobre estimación en todos los grupos de edad al utilizar el modelo lineal. Tserpes & Tsimenides (1995) para *X. gladius* y Chiang *et al.* (2004) para *I. platypterus*, también recomiendan el uso del modelo potencial para el retro-cálculo de longitudes. La realización del retro-cálculo evita problemas asociados con falsos anillos y la presencia del núcleo vascularizado el cual puede ocultar los primeros anillos de crecimiento en los peces más grandes.

Se estimaron 11 clases de edad (1 a 11 años). Las clases de edad 5 y 6 fueron predominantes en las muestras. En el Pacífico mexicano, Alvarado-Castillo & Félix-Úraga (1996) observaron ocho clases de edad (0-7) y Macías Zamora *et al.* (2001) observaron diez clases de edad (1-10), y en ambos casos predominaron las clases de edad tres y cuatro. Chiang *et al.* (2004) encontraron para las aguas del éste de Taiwan, 11 clases de edad en los machos y 12 para las hembras de *I. platypterus*. Freire *et al.* (1998) reportaron 10 clases de edad para el pez vela capturado en el noroeste de Brasil, mientras que Prince *et al.* (1986) reportaron una edad máxima de 13 a 15 años para *I. platypterus* basado en la recaptura de un organismo en el Océano Atlántico. Cabe mencionar que las estimaciones realizadas por Alvarado-Castillo & Félix-Úraga (1996) y Macías Zamora *et al.* (2001) no se reporta corrección en la asignación de la edad debida a la zona vascularizada que presentan las estructuras utilizadas para la determinación de la edad, en cambio Chiang *et al.* (2004) y Freire *et al.* (1998) si reportan dicha corrección lo que podría explicar las diferencias o similitudes entre los resultados de diferentes regiones.

Se observa que *I. platypterus* presenta un crecimiento rápido, alcanzando 100 cm de LOF durante el segundo año de vida, que representa más del 50% de la longitud media asintótica estimada. Esta tendencia en el crecimiento ha sido documentada en diferentes áreas (De Sylva 1957; Jolley 1977; Hedgepet & Jolley 1983; Chiang *et al.*, 2004). El presentar un rápido crecimiento durante las primeras etapas de vida puede ser una ventaja adaptativa para evitar a los depredadores. La estimación de la longitud media asintótica para el Golfo de Tehuantepec fue de $L_{\infty} = 190.6$ aplicando el modelo de crecimiento de Schnute, y $L_{\infty} = 180.6$ utilizando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, ambas estimaciones resultaron menores a las obtenidas por Chiang *et al.* (2004) para el pez vela distribuido en las aguas de Taiwan. Estos autores reportan un valor de 343.8 cm para hembras y 294.0 cm para macho utilizando la longitud entre la mandíbula inferior a la furca (LMIF). Los valores de esta variable para *I. platypterus* en el Golfo de Arabia fue de 191 cm (hembras) y 160 cm (machos) de LMIF (Hoolihan, 2006). Freire *et al.* (1998) reportan una longitud media asintótica de 179.6 LOF para el noroeste de Brasil. En la tabla 7 se presenta una comparación entre los modelos de crecimiento y los parámetros obtenidos en diferentes regiones del mundo, en donde la longitud corporal utilizada podría ser una de las razones de las diferencias en las estimaciones.

En estas estimaciones, el origen de la información comúnmente fueron las capturas de la flota deportiva, donde el objetivo de la pesca es obtener los organismos más grandes. La ausencia de los organismos más pequeños y jóvenes provoca que no se obtengan ajustes adecuados del modelo a los datos.

Tabla 7 Parámetros de crecimiento estimados para el pez vela *Istiophorus platypterus* en diferentes áreas geográficas. Se indica el modelo que se utilizó para la descripción del crecimiento. ♀ Hembras, ♂ machos, L* tipo de longitud utilizada; LTRC Longitud del tronco (del borde del ojo a la parte inferior de la inserción de las quillas caudales); LMIF Longitud de la mandíbula inferior a la furca; LOF Longitud ojo-furca. Los parámetros de cada modelo y si se reportan los intervalos de confianza (IC), así como el algoritmo utilizado para la estimación de los parámetros de cada modelo: Suma de cuadrados (SSQ), logaritmo de verosimilitud (lnL), no se menciona (NM)

Localidad	n	Modelo	L*	L _∞	k	K	t ₀	m	IC	Algoritmo	Referencia
Florida	310 ♀	von Bertalanffy	LTCH	183	0.1586		-3.312		NM	Beverton	Hedgepeth & Jolley, 1983
Florida	259 ♂	von Bertalanffy	LTCH	147	0.3014		-1.959		NM	Beverton	Hedgepeth & Jolley, 1983
Golfo de California	754	von Bertalanffy	LMIF	207.3	0.752		-0.0016		NM	SSQ	Alvarado Castillo & Félix Uraga, 1998
Brasil	126	von Bertalanffy	LOF	179.6	0.1466		-1.246		NM	SSQ	Freire et al., 1998
Pacífico mexicano	1216	von Bertalanffy	LOF	177.16	2.97		-0.016		NM	SSQ	Macías-Zamora et al., 2001
Taiwan	436 ♀	Richards	LMIF	343.8		0.011	-0.468	-1.639	Error estándar	lnL	Chiang et al., 2004
Taiwan	699 ♂	Richards	LMIF	294.0		0.023	-0.704	-1.288	Error estándar	lnL	Chiang et al., 2004
Golfo de Arabia	35 ♂	von Bertalanffy	LMIF	191	0.29		-4.31		NM	SSQ	Hoolihan, 2005
Golfo de Arabia	50 ♂	von Bertalanffy	LMIF	160	0.42		-4.92		NM	SSQ	Hoolihan, 2005
Mazatlán México	480	von Bertalanffy	LMIF	219	0.32		-1		NM	SSQ	Ramírez-Pérez, 2005
Golfo de Tehuantepec	477	Schnute	LOF	189.1	0.3141		-0.955		Perfiles de verosimilitud	-lnL	Presente estudio
Golfo de Tehuantepec	477	von Bertalanffy	LOF	187	0.3818		-1.87		Perfiles de verosimilitud	-lnL	Presente estudio

En consecuencia, se deben resolver modelos alternativos y confrontarlos con los datos y obtener estimaciones adecuadas del patrón de crecimiento individual (Richards, 1959; Schnute, 1981; Katsanevakis, 2006). Chiang *et al.* (2004) estimaron el crecimiento de *I. platypterus* en el este de Taiwan. Ellos evaluaron el desempeño del modelo de crecimiento propuesto por von Bertalanffy (VB) y el modelo de Richards utilizando la prueba de razón de verosimilitud como criterio de desempeño y encontraron que el modelo de Richards describió mejor los datos. El modelo ajustó adecuadamente a los datos observados en la clase de edad 0, y la curva de crecimiento teórica mostró que el modelo de crecimiento generalizado de Richards fue más flexible cuando los individuos jóvenes fueron escasos en la muestra biológica.

En el presente trabajo, el modelo de Schnute y el modelo de VB presentaron valores muy similares del logaritmo negativo de verosimilitud, pero los resultados muestran que es el modelo de VB el mejor modelo candidato. Debido a esto, se considera que los datos de edad son suficientemente informativos para describir el patrón de crecimiento de *I. platypterus* de acuerdo al modelo de crecimiento de VB. Para el modelo de crecimiento de Schnute (Schnute, 1981) el procedimiento general de solución, consiste en encontrar inicialmente un modelo óptimo de cuatro parámetros (t , δ , λ y ρ). La inspección de los parámetros λ y ρ en el contexto del modelo general, puede dar como resultado que la curva optima obtenida sea muy parecida al submodelo logrado solo con tres parámetros (incluso solo dos parámetros). Si es el caso, se puede estimar el submodelo de crecimiento y compararlos. El modelo de VB es un caso especial del modelo de Schnute, cuando $\rho = 1$, sin embargo, en nuestras estimaciones de este parámetro resulta que es estadísticamente diferente de 1.

Se compararon particularmente los modelos de Schnute y VB en lugar de cualquier otro, porque el modelo de Schnute presenta una ecuación diferencial que forma ocho diferentes curvas dependiendo del valor de los parámetros estimados. La ventaja del modelo de Schnute es que contiene al modelo de Richards como un caso especial dentro de sus soluciones alternativas, adicionalmente el modelo de Schnute es un modelo de crecimiento general de cuatro parámetros que contiene a la mayoría de los

modelos de crecimiento anteriormente mencionados. Éste modelo, más que modelar la tasa instantánea de cambio se concentra en la tasa relativa de cambio. Aunado a esto, el modelo de Schnute presenta una forma que su parametrización es estadísticamente estable, es decir la convergencia no lineal de los residuos cuadrados mínimos es satisfactoria cuando otros algoritmos de solución fracasan en la convergencia. Como dos de los parámetros en el modelo de Schnute son valores esperados de los parámetros (τ , δ), se podría esperar una mayor estabilidad que en la resolución de VB alométrico o la parametrización de Richards (Quinn & Deriso, 1999).

Cuando se comparan modelos y se quiere elegir al que mejor describa nuestros datos, El primer paso es elegir los modelos candidatos, basándose en la forma de la curva que describe cada modelo (asintótica, con punto de inflexión, etc.) y en los supuestos biológicos sobre los cuales se deriva el modelo. Quinn & Deriso (1989) consideran que el modelo de Schnute es una buena elección ya que está basado en el supuesto de la aceleración lineal del crecimiento relativo y por su flexibilidad contiene hasta ocho submodelos.

En la confrontación entre modelos candidatos, el criterio de selección del mejor modelo es la principal fuente de incertidumbre. En el estudio del crecimiento en peces algunos criterios como r^2 (Tserpes & Tseminides, 1995), razón de verosimilitud, para modelos anidados (Hilborn & Mangel, 1997; Chiang *et al.*, 2004), y el criterio de información de Akaike (Akaike, 1973; Quinn & Deriso, 1999) han sido utilizados. La selección de modelos basados en la teoría de la información ha sido recomendado como la mejor y más robusta alternativa, en comparación de los enfoques tradicionales de prueba de hipótesis o inferencia a partir de valores de r^2 (Burnham & Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006; Katsanevakis & Maravelias, 2008). Adicionalmente, el mejor ajuste del modelo a los datos depende de la función objetivo. Esta puede ser suma de cuadrados, verosimilitud o logaritmo de verosimilitud. Katsanevakis (2006) y Katsanevakis & Maravelias (2008) proponen el uso de inferencia a partir de multimodelos para la selección del mejor modelo en el estudio del crecimiento individual en peces. En este enfoque de multimodelos, el criterio de selección es el AIC, el cual

está expresado en términos de la suma de residuos cuadrados. La ventaja de este enfoque es que los modelos son ordenados jerárquicamente considerando el ajuste a los datos, y los parámetros de los modelos candidatos pueden ser promediados ponderados por el ajuste. Para este procedimiento es necesario estimar el promedio ponderado a partir del AIC ponderado (Burnham & Anderson 2002). En el presente trabajo se comparan solo dos modelos (VB y Schnute). La comparación de modelos y la inferencia a partir de multimodelos no fue utilizada, pero la selección del modelo fue basado en el criterio AIC y de esta forma la selección del modelo fue basado en el principio de parsimonia de acuerdo al criterio de información de Akaike, resultando el VB como el mejor modelo candidato.

Otro modelo generalizado que se aplicó al pez vela *I. platypterus* es el modelo de crecimiento de Richards (Richards, 1959). Este modelo fue usado por Chiang *et al.* (2004), y lo compararon con el modelo de VB. Ellos concluyen que el modelo generalizado de Richards presentó un mejor ajuste a los datos de *I. platypterus* de Taiwan. El criterio de selección del modelo utilizado fue la prueba de razón de verosimilitud. La ventaja del modelo de Richards es que contiene como casos especiales a la forma común del modelo de VB, la forma alométrica de VB, la forma isométrica, incluye el modelo logístico y el modelo de Gompertz. En trabajos que abordan el crecimiento individual de especies de pico, se han empleado algunos modelos generalizados, tal es el caso del modelo de Chapman (1961) aplicado al pez espada *Xiphias gladius* (Ehrhardt, 1992; Tserpes & Tseminides, 1995), el cual es una versión generalizada del modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VB). La comparación entre el modelo de Chapman y el modelo de von Bertalanffy, no mostró diferencias en el desempeño de los modelos, basados en la estimación de r^2 que reportan Tserpes & Tseminides (1995), pero recomiendan el uso del modelo de von Bertalanffy para estudios de crecimiento de *X. gladius*, debido a que el modelo de Chapman sobreestimó la longitud asintótica. Por su parte Ehrhardt (1992) analizó el crecimiento individual de esta especie recomendando el uso del modelo de Chapman como el mejor, en comparación con el de VB. Esta conclusión fue basada en que el

modelo de VB sobreestimaba los valores esperados para las edades pequeñas y mayores y una subestimación de las longitudes esperadas a edades intermedias.

En trabajos anteriores, la incertidumbre con respecto a los parámetros de crecimiento de *I. platypterus* no fue estimada y a su vez, los parámetros fueron estimados utilizando un algoritmo basado en la minimización de residuos (Hedgepet & Jolley, 1983; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga, 1998; Freire *et al.*, 1998; Hoolihan, 2006).

Evaluación del recurso

En el caso del *I. platypterus* capturado por la flota artesanal, en el Golfo de Tehuantepec, se asumió un valor constante de mortalidad natural (M) igual a 0.55 anual, obtenido a partir de la relación empírica de Pauly (1980). Tomando en cuenta que los organismos capturados han rebasado la longitud de primera madurez ($LM = 150.2$ cm LOF), se asume que M ya no presenta variación debida a la madurez. La tasa de mortalidad natural (M) es uno de los parámetros más difíciles de cuantificar y con mayor incertidumbre, generalmente estimada a partir de relaciones empíricas (Vetter, 1988; Chiang *et al.*, 2009). La mortalidad natural usualmente se asume constante en el tiempo, con la edad y el sexo de los organismos, lo cual no es del todo cierto para muchos stocks. Se han propuesto modelos para la estimación de M dependiente de la edad (Harley & Mauder, 2003). Estos modelos hacen hincapié particularmente con respecto a la dependencia de M con respecto a la edad de madurez (EM). Existe un consenso generalizado en que M es mayor en larvas y juveniles, es mínima en la madurez y se incrementa nuevamente al alcanzar la edad máxima (Vetter, 1988). Este mismo autor critica el uso de un valor constante del parámetro M , sin embargo, también menciona que es válida su utilización en stocks de peces explotados ya que su uso es solo para edades posteriores al reclutamiento. Por otro lado, Gunderson (1980), menciona que la M de los organismos adultos es independiente de la mortalidad por pesca y relativamente constante durante el resto de la etapa adulta de los organismos, aunque sugiere que puede incrementarse marcadamente una vez que la senescencia comienza.

Chiang *et al.* (2009) reportan una M igual a 0.26 anual para hembras y de 0.27 anual para los machos de *I. platypterus* en aguas de Taiwan, al igual que en el presente trabajo, este autor realizó las estimaciones de M con base en la relación empírica de Pauly (1980). Las probables diferencias del parámetro podrían deberse a las diferencias en los parámetros de crecimiento utilizados o por tratarse de otro stock. Este autor estimó los parámetros de crecimiento en términos de la longitud entre la mandíbula inferior a la furca, además de que la temperatura superficial del mar alrededor del este

de Taiwán es más fría (26 °C) elementos en los que se basa el cálculo de M . Mientras que evaluaciones realizadas para el pez vela en el Pacífico mexicano reportan una estimación de M igual a 0.38 anual (Macías Zamora, 2002). Esta última estimación se realizó como parte de la solución de un modelo demográfico estructurado por edades (Hilborn & Walters, 1992). Hoolihan (2005) analizando información proveniente de marcado y recaptura, estima un tasa de sobrevivencia de 0.37.

La estructura de longitudes, fueron muy similares durante los años 2005, 2006, 2007, 2008, periodo en los que se aplicó el modelo estructurado por tallas CASA (Sullivan *et al.*, 1990). Esto dio como resultado que las salidas del modelo también fueran similares, es decir, hubo similitud en las tasas de captura, mortalidad por pesca y selectividad.

Durante los cuatro años la selectividad inició su operación por arriba de los 154 cm de LOF y esta fue más intensa en el intervalo de los 174.5 cm de LOF. Como ya se discutió anteriormente, respecto a la estimación de la longitud de primera madurez (LM) los organismos capturados ya han rebasado este punto de referencia. Por lo que, con base a este parámetro, el stock explotado en Puerto Ángel no se encuentra en riesgo de sobre explotación de crecimiento (Beverton & Holt, 1957). Es a partir del grupo de 174.5 cm de LOF que los organismos se encuentran completamente reclutados a la pesquería. Los palangres son un arte de pesca eficiente para la captura de especies de pico (Ueyanagi, 1974; Miyabe & Bayliff, 1987). La selectividad específica y el tamaño de los peces capturados dependen del tamaño del anzuelo, la carnada y la profundidad de operación del arte de pesca (Løkkeborg & Bjordal, 1992; Bigelow *et al.*, 2006). Durante el periodo se utilizó consistentemente como carnada al ojetón (*Selar crumenophtalmus*), el tipo de anzuelo (garra de águila y tipo J), y el arte de pesca operó en superficie al contar con un flotador en cada reinal. Esta estrategia de pesca refleja el conocimiento empírico que posee el pescador sobre el recurso.

Si bien se reporta una tasa de mortalidad por pesca promedio para los cuatro años de 0.397 anual ($F_{2005}=0.32$; $F_{2006}=0.38$; $F_{2007}=0.35$; $F_{2008}=0.54$), por intervalo de talla se presentan tasas instantáneas de mortalidad por pesca de hasta 2.0 anual en el intervalo

de talla de 174.5 cm de LOF que es el que más contribuye a las capturas. Esto da como resultado tasas de explotación de casi el 80% para este grupo de tallas. No obstante, la tasa de explotación promedio para todos los grupos de talla para cada uno de los años analizados es de 21% (2005), 27% (2006), 22% (2007), y 34% como máximo para el año 2008. En este sentido, Chiang *et al.* (2006) estima una tasa instantánea de mortalidad por pesca de 0.24 anual y 0.46 anual, para hembras y machos respectivamente; similares a las estimadas en el presente trabajo. Este autor considera que las tasas de mortalidad pueden estar subestimadas debido a los movimientos migratorios del recurso hacia las áreas de pesca. Pero al final de su análisis, este autor indica que el stock de pez vela en Taiwan se encuentra moderadamente explotado y con poco riesgo de ser sobre explotado. Una de las ventajas del modelo CASA es que permite obtener estimaciones de la tasa de mortalidad por pesca (F) y de explotación (μ) por intervalo de talla.

Con base a la estructura de edades obtenida en la sección de edad y crecimiento, las mayores tasas de explotación corresponden a los grupos de edad 5 y 6. Al parecer el rápido crecimiento de la especie ($k = 0.36 \text{ años}^{-1}$) permite mantener abundante el grupo de tallas de 174.5 cm. Con base en el modelo de crecimiento de von Bertalanffy estimado en el presente trabajo, los organismos completamente reclutados a la pesquería prácticamente ya han alcanzado la longitud máxima asintótica ($L_{\infty} = 180.6 \text{ cm}$ IC = 176 - 186 cm, $P < 0.05$). Por otro lado los grupos de talla previos muestran una tasa de explotación por debajo del 40% suficiente para permitir el crecimiento de este grupo de organismos. Adicionalmente los organismos por debajo de la longitud de primera madurez (LM) apenas llegan a presentar una tasa de explotación del 5% anual. Para el grupo con una talla promedio de 154.5 cm de LOF se estimó una tasa de explotación promedio de 26%. A este grupo de talla corresponde la LM, lo que muestra un impacto bajo en este grupo de organismos.

Si bien la aplicación del modelo de Sullivan, fue sobre las capturas realizadas en los años 2005 a 2008, años en que no se observaron diferencias significativas en la tendencia de la talla promedio, pero, considerando el periodo del año 2000 al 2008 sí se

presentaron diferencias. Esta disminución en la talla promedio podría hacer pensar en la posibilidad de un cambio en la longitud de primera madurez y a su vez en la edad de madurez. Como se mencionó anteriormente, la pesca puede provocar cambios en las poblaciones de peces explotadas. Particularmente la talla y edad de madurez son características especialmente sensibles a cambios en los esquemas de mortalidad (Stearns, 1992).

Además del incremento en la mortalidad, se considera que la pesca puede provocar cambios en las características de la historia de vida de los stocks explotados a través de dos mecanismos (Law, 2000; Heino & Godo, 2002). El primero a través de altas tasas de captura, que provocan una disminución en el tamaño poblacional lo que a su vez relaja la competencia intraespecífica y por tanto pueden incrementarse las tasas de crecimiento individual y la sobrevivencia (Policansky, 1993). Como resultado de este incremento en la tasa de crecimiento, los peces de los stocks fuertemente explotados tienden a madurar más jóvenes y esto se liga con una reducción de la longitud de primera madurez (Heino & Godo, 2002). El segundo mecanismo es a través de una fuerte selección de organismos con ciertas características (tales como tallas mayores, organismos maduros) (Heino & Godo, 2002). En este sentido la pesquería de pez vela en el Golfo de Tehuantepec, presenta una alta selección sobre organismos mayores a 174.5 cm de LOF los cuales se consideran maduros.

Por otro lado, Sharpe & Hendry (2009) para evaluar los cambios que puede provocar la pesca sobre las características de la historia de vida de los stocks explotados, asignaron niveles respecto a la intensidad de pesca para los stocks que ellos revisaron. Estas categorías fueron: bajo para $F < 0.3$, medio para $0.3 > F < 0.6$, y alto para $F > 0.6$. Estos autores consideraron que F es un buen indicador de la fuerza de selección ya que este índice mide la proporción de organismos que es removida de la población. Ellos encontraron que la mortalidad por pesca (F) tiene un fuerte efecto negativo sobre la longitud de primera madurez pero sin cambios significativos respecto a la edad de madurez. Sin embargo, también considera que estas tendencias pueden ser provocadas por las series de tiempo analizadas que consideran cortas (1 a 16

generaciones) (Gingerich, 1993, 2001; Kinnison & Hendry, 2001), o por coincidir el periodo de estudio con etapas de selección intensa, y que con periodos de estudio más largos el efecto se vería disminuido (Grant & Grant, 2002). Bajo este criterio el stock de pez vela en el Golfo de Tehuantepec se encuentra en un nivel medio de explotación (0.39 anual) pero limitadamente corresponde temporalmente a una generación.

Por otro lado, también se considera que hay factores independientes a la pesquería que pueden provocar cambios en la talla y edad de madurez (Neuheimer & Taggart, 2010). Estos factores incluyen, la temperatura, consumo de alimento, calidad del alimento, fenotipo y genotipo. De estas, es la temperatura la que gobierna el crecimiento directamente a nivel celular (Fry 1971). Algunos estudios han concluido que el principal conductor de los cambios en las características de la historia de vida de un stock son las variables ambientales (Cox & Hinch, 1997; Cardinale & Modin, 1999). Esta confluencia de factores, dificulta el establecimiento de cuáles pueden ser las causas de los cambios en la talla y edad de primera madurez. La posibilidad de evaluar el efecto de la presión de pesca sobre los cambios en la talla-edad dependerá de la posibilidad de discernir entre los diferentes factores que contribuyen a las variaciones de talla-edad en un stock explotado (Neuheimer & Taggart, 2010).

Debido a la falta de consistencia en las tendencias de la talla promedio en las especies de pico hace que se reduzca la utilidad de la talla como un indicador de la presión de pesca, resulta entonces de gran utilidad además, el evaluar las tasas de explotación por intervalo de talla, lo que nos permite detectar grupos de talla con mayor vulnerabilidad.

Froese (2004) propone tres características que deben cumplir las capturas para lograr una pesquería sustentable. Estas recomendaciones están basadas en las siguientes ideas: 1) La composición de tallas debe reflejar casi exclusivamente la captura de individuos maduros. 2) Las capturas deben consistir principalmente de organismos con una talla a la cual se obtiene la mayor producción de la cohorte. 3) La estructura de tallas debe reflejar la conservación de los individuos maduros grandes. Bajo estas características Froese (2004) considera que se evita la sobrepesca de crecimiento

(Beverton & Holt, 1957) y sobrepesca de reclutamiento (Ricker, 1975) utilizando datos fáciles de obtener de la pesquería. De acuerdo a los resultados obtenidos el recurso pez vela *I. platypterus* capturado por la flota artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca, cumple con estas expectativas.

El argumento que dice que la pesca comercial, no es selectiva y que captura indiscriminadamente todas las tallas y edades a partir de individuos juveniles con un efecto negativo para la población, parece no estar justificado, ya que los resultados que se presentan indican una selectividad de tallas y los organismos capturados han rebasado la longitud de primera madurez.

La mayoría de los métodos de evaluación pesquera requieren de información histórica sobre capturas, esfuerzo y captura a la edad. En los modelos estructurados por edad (MEE), los procesos de reproducción, crecimiento somático, mortalidad natural y por pesca, pueden ser monitoreados independientemente para cada grupo de edad al tratar a cada proceso como un submodelo (Megrey, 1989). Para estos métodos se requiere información sobre la captura por cada grupo de edad y requieren series de tiempo largas las cuales proporcionen información del seguimiento de al menos una cohorte a lo largo de toda su vida. La falta de estadísticas de pesca hace difícil evaluar el estatus de poblaciones explotadas por pesquerías de pequeña escala (artesanales) o de las especies que se capturan de forma incidental. El método CASA (Sullivan *et al.*, 1990), de igual forma contempla los procesos biológicos de la especie, pero a diferencia de los MEE no requiere información por grupo de edad si no por talla, lo cual los hace más fáciles de aplicar ya que el contar con información referente a edad no siempre es posible. Por otro lado para la aplicación del modelo CASA (Sullivan *et al.*, 1990) no se requiere de series de tiempo largas. Para el presente trabajo se utilizó información obtenida durante cuatro años únicamente, haciendo posible la obtención de estimaciones de selectividad, tasas de mortalidad por pesca y tasas de explotación, detectando a los grupos con mayor vulnerabilidad.

Existen otros enfoques de evaluación de recursos basados en las capturas estructuradas por talla como es el caso del Multifan-Cl (Fournier *et al.*, 1998), el cual fue utilizado para la evaluación del atún aleta amarilla (Hamton *et al.*, 2004); Stock Synthesis (Methot, 2000) que fue desarrollado para evaluar al pez sable de la costa Oeste (Methot & Hightower, 1990) y CASAL (Bull *et al.*, 2005). Estos modelos al igual que el CASA contienen submodelos que representan los procesos de la dinámica de la población a evaluar. El obtener un buen ajuste del modelo a los datos es un indicador de confiabilidad de que el modelo incluye las fuentes de variación más relevantes en la dinámica de la especie (Methot, 2005)

La pesca artesanal de *Istiophorus platypterus* en Puerto Ángel, Oaxaca, es ilegal lo que dificulta la obtención de información sobre las capturas. Sin embargo, por las características del modelo CASA (Sullivan *et al.*, 1990) y la información que se requiere para su aplicación, permitió la aplicación del modelo para la evaluación de este recurso. Al igual que para el pez vela, existen otros recursos para los cuales no se cuenta con suficiente información para su evaluación por medio de los métodos tradicionales, por lo que el modelo CASA (Sullivan *et al.*, 1990) resulta ser una alternativa para conocer el estatus actual de los recursos. Actualmente se están realizando esfuerzos para contar con alternativas metodológicas que permitan conocer el estatus de un recurso, aun cuando solo se cuente con información limitada (Froese, 2004; Cope, 2008; Sullivan *et al.*, 1990; Chiang *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

- ✓ La estructura de tallas de los organismos del pez vela capturados por la flota artesanal que opera en el Golfo de Tehuantepec es unimodal y la talla promedio mostró una tendencia negativa. La CPUE no presentó una tendencia clara, con valores promedio de 2.5 org/viaje.
- ✓ Se identificaron cuatro estadios de madurez sexual en las hembras, estos fueron: crecimiento primario o previtelogénesis, crecimiento secundario o vitelogénesis, crecimiento terciario o maduración y por último desove o fin del proceso de vitelogénesis. A su vez se reconocieron 10 subestadios de los ovocitos específicos para *Istiophorus platypterus*. La época reproductiva fue identificada durante los meses de verano y hasta principios de otoño. Las estimaciones de la frecuencia del diámetro de todos los ovocitos (FDTO) muestran que este análisis puede ser útil como una herramienta para la evaluación de madurez. La longitud de primera madurez (LM) estimada fue de 150.2 cm LOF.
- ✓ Se observaron 11 clases de edad (1 a 11 años). Las clases de edad 5 y 6 fueron predominantes en las muestras. Los datos de edad de *I. platypterus* son suficientemente informativos para describir el patrón de crecimiento a partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Los parámetros estimados fueron $L_{\infty} = 180.6$ cm (IC = 176 - 186 cm), $k = 0.36$ años⁻¹ (IC = 0.34 - 0.39), $t_0 = -0.24$ (IC = -0.30 to -0.18). Se observa que *I. platypterus* presenta un crecimiento rápido, alcanzando 100 cm de LOF durante el segundo año de vida, que representa más del 50% de la longitud media asintótica estimada. Por primera vez se estima la incertidumbre de los parámetros de crecimiento del pez vela *I. platypterus*.
- ✓ Los organismos capturados por la flota artesanal, en el Golfo de Tehuantepec, ya han rebasado la LM. El grupo de talla de 174.5 cm de LOF es el que más contribuye a las capturas. Los organismos completamente reclutados a la pesquería prácticamente ya han alcanzado la longitud máxima asintótica ($L_{\infty} =$

180.6 cm, IC = 176 - 186 cm). La tasa de explotación promedio se encuentra por debajo del 35%. Con base en esto, se considera que el stock explotado en Puerto Ángel no se encuentra en riesgo de sobre explotación de crecimiento.

- ✓ Con base en los resultados anteriores, la pesca artesanal de pez vela en el Golfo de Tehuantepec, presenta una selectividad de tallas y los organismos capturados han rebasado la talla de madurez, por lo que se considera que el stock explotado en Puerto Ángel, Oaxaca, no se encuentra en riesgo de sobre explotación.

RECOMENDACIONES

El objetivo final de la evaluación de recursos es apoyar en la toma de decisiones mediante 1) la descripción de posibles estados alternos de la naturaleza, 2) determinar las consecuencias de tomar diferentes acciones de manejo bajo diferentes estados de la naturaleza y 3) calculando la probabilidad de los diferentes estados de la naturaleza. Por esta razón, y para alcanzar este objetivo, es necesario continuar con la evaluación. Realizar análisis proponiendo estados alternos del recurso, tomando en cuenta la incertidumbre de la estimación de los parámetros y puntos de referencia biológicos. Dado que el pez vela *I. platypterus* presenta una amplia distribución en el Pacífico mexicano, en la medida de lo posible, contar con información proveniente de toda el área, que permita realizar inferencias para el stock completo.

Tomar en cuenta que la pesca artesanal provee de información valiosa para la evaluación del recurso por lo que se debería continuar con el monitoreo de la actividad. Al igual que ocurre en otros países, permitir la permanencia de la pesca artesanal. Contar con un programa de muestreo de esta flota permitiría monitorear las fluctuaciones del recurso. Puerto Ángel, Oaxaca, es una localidad estratégica para el recurso, por localizarse en un área donde el recurso presenta un núcleo de abundancia.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Palomino, B., L.A. Abitia Cardenas, J. De la Cruz-Agüero & J. Rodríguez-Romero. 1994. New record of young Sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1792) (Osteichthyes: Istiophoridae) in Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 42: 391-392.
- Aguirre, H., F. Amezcua, J. Madrid-Vera & Soto C. 2008. Length-weight relationship for 21 species from coastal lagoon in the southwestern Gulf of California. *J. App. Ichthyol.*, 24: 91-92.
- Aguirre-Villaseñor, H., E. Morales-Bojórquez, R.E. Morán-Angulo, J. Madrid-Vera & M.C. Valdez-Pineda. 2006. Indicadores bioógicos de la pesquería de sierra (*Scomberomorus sierra*) al sur del Golfo de California, México. *Cien. Mar.*, 32(3): 471–484.
- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. En: B.N. Petran & F.Csaaki (Ed). *International Symposium on Information Theory*. Acadeemiai Kiado, Budapest, Hungary.
- Alejo-Plata, M.C., S. Ramos-Carrillo, G. Cerdaneres-Ladrón de Guevara & G. González-Medina. 2005. Caracterización de la pesca artesanal de tiburones desembarcados en Salina Cruz, Oaxaca, México. Informe final del proyecto SAGARPA – CONACYT clave C1-069.
- Alió, J. & L. Marcano, 2001. Contrast between the trends of billfish abundance recorded from the sport fishing activity off Playa Grande Yachting Club and from sport fishing tournaments in the central Venezuelan coast, during the period 1984-1999. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.*, 53:291-297.
- Alió, J.J., L.A. Marcano, X. Gutiérrez, & R. Fontiveros 1994. Descriptive analysis of the artisanal fishery of billfishes in the central coast of Venezuela. *Col. Doc. Cien. ICCAT.*, 41 (2):253-264.
- Alvarado-Castillo, R. & R. Félix-Uraga. 1996. Age determination in *Istiophorus platypterus* (Pices: Istiophoridae) in the south of the Gulf of California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 44: 233-239.
- Alvarado-Castillo, R. & R. Félix-Uraga. 1998. Growth of *Istiophorus platypterus* (Pices: Istiophoridae) from the mouth of the Gulf of California. *Rev. Biol. Trop.*, 46: 115-118.

- Álvarez-Torres, P., A. Díaz-de-León-Corral, O. Ramírez-Flores & E. Bermúdez-Rodríguez. 2002. National fisheries chart 2000: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Rev. Fish Biol. Fish.* 12: 317–326.
- Anónimo. 1997. Annual Report of the Inter-American Tropical tuna Commission, La Jolla, CA.
- Anónimo. 2000 The Southwest Science Center's 2000 Billfish Newsletter, NOAA, NMFS, La jolla, CA.
- Arias-Olaiz, F. 2007. Distribución espacio-temporal de la CPUEe del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 53p.
- Arocha F. & L. Marcano. 2008. Life history characteristics of blue marlin, white marlin and sailfish from the eastern Caribbean Sea and adjacent waters. *Amer. Fish. Soc. Symp.*, 49: 1481-1491.
- Arocha, F. & A. Bárrios. 2009. Sex ratios, spawning seasonality, sexual maturity, and fecundity of white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western central Atlantic. *Fish. Res.*, 95: 98-111.
- Arocha, F., L. Marcano & J. Silva. 2010. Sex ratio at size of sailfish (*Istiophorus albicans*) from the Venezuela fishery off the Caribbean sea and adjacent areas. *ICCAT, SCRS Col. Vol. Sci. Pap.* 65: 1633-1640.
- Arocha, F., L.A. Marcano, A. Lárez, D. Altuve & J. Alió. 1999. The fishery, demographic size structure and oocyte development of dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Venezuela and adjacent waters. *Sci. Mar.*, 63: 401-409.
- Arocha, F., M. Ortiz, A. Bárrios, D. Debrot & L.A. Marcano. 2009. Catch rates for sailfish (*Istiophorus albicans*) from small scale fishery off La Guaira, Venezuela: period 1991-2007. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 64(6): 1844-1853.
- Bagenal, T.B. & F.W. Tesch. 1978. Age and growth. En: T.B. Bagenal (Ed.) *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. Oxford, U.K Blackwell Scientific Publications, p 101-136.
- Baranov, F.I. 1918. On the cuestion of the biological basis of fisheries. *Nauchn. Issled. Ikhtiologicheskii Inst. Izv.*, 1: 81-128.
- Barton, E.D., M.L. Argote, J. Brown, P.M. Kosro, M. Lavin, J.M. Robles, R.L. Smith, A. Transviña & H.S. Vélez, 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, México. *Oceanography*, 6(1): 23-30.

- Baum, J.K. & R.A. Myers. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecol. Lett.*, 7: 135–145.
- Beardsley, G.L. & R.J. Conser. 1981. An analysis of catch and effort data from the U.S. recreational fishery for billfishes (Istiophoridae) in the western North Atlantic Ocean and Gulf of Mexico, 1971-78. *Fish. Bull.*, 79:49-68.
- Beardsley, G.L., J.R. Merret & W.J. Richards. 1975. Synopsis of the biology of the sailfish, *Istiophorus platypterus* (Shaw and Nodder, 1791). En: R.S. Shomura & F. William (Ed.) *International Billfish Symposium*. U.S. Dep. Commer NMFS SSRF-675.
- Beverton, R.J.H. & S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. H.M. Stationery Off., London, *Fish. Invest. Ser., II* 19: 533 p.
- Bigelow, K., M.K. Musyl, F. Poisson & P. Kleiber. 2006. Pelagic longline gear depth and shoaling. *Fish. Res.*, 77: 173–183.
- Blackburn, M. 1962. An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. *Special Scientific Report-Fisheries* 404:28
- Briarty, L.G. 1975. Stereology methods for quantitative light and electron microscopy. *Sci. Prog.*, 62: 1-32.
- Brouwer, S.L. & M.H. Griffiths. 2005. Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pices: Sparidae) in a marine protected area. *Fish. Bull.*, 103: 258-269.
- Bull, B., R.I.C.C. Francis, A. Dunn, A. McKenzie, D.J. Gilbert & M.H. Smith. 2005. CASAL (C++ algorithmic stock assessment laboratory): CASAL User Manual v2.07-2005/08/21. *NIWA Technical Report* 127 ISSN 1174-2631. http://www.niwa.co.nz/data/assets/pdf_file/0020/30539/casalv207-2005-08-21.pdf.
- Burden, R. & D. Faires. 1985. *Análisis Numérico*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1985. 731p.
- Burnham, K.P. & D.R. Anderson. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: a Practical Information-Theoretic Approach*. New York. Springer. 488 p.
- Cardinale, M. & J. Modin. 1999. Changes in size-at-maturity of Baltic cod (*Gadus morhua*) during a period of large variations in stock size and environmental conditions. *Fish. Res.*, 41: 285-295.
- Cerdenares, L. de G.G. 2005. Caracterización biológica del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1792) capturado en la costa de Oaxaca. Tesis de Maestría. ICMYL-UNAM, México. 42 p.

- Cerdenares, L. de G.G., M.C. Alejo-Plata, G. González-Medina & D. Audelo Ramos. 2003. Pesquerías de pelágicos y condiciones oceanográficas asociadas, en la costa chica de Oaxaca. Informe final. Instituto de Recursos, UMAR, México. 85p.
- Cerdenares, L. de G.G., P. Torres-Hernández, C. Alejo-Plata, G. Aceves-Medina & R. Saldierna-Martínez. 2004. Presencia de larvas de pez vela *Istiophorus platypterus*, en la costa de Oaxaca, México. Resúmenes, IX Congreso Nacional de Ictiología, Villahermosa, Tabasco
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39:1208–1210.
- Chapman, D.G. 1961. Statistical problems in dynamics of exploited fisheries populations. *University of California Publications in Statistics* 4: 153-168.
- Chiang, W.C., C.L. Sun & S.Z. Yeh. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fish. Bull.*, 102(2):251-263.
- Chiang, W.C., C.L. Sun, S.Z. Yeh, W.C. Su, D.C. Liu & W.Y. Chen. 2006. Sex ratio, size at sexual maturity and spawning seasonality of sailfish *Istiophorus platypterus* from Eastern Taiwan. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 727-737
- Chiang, W.C., Y. Chen, C.L. Sun, W.C. Su, S.P. Wang, D.C. Liu, S.Z. Yeh, W.Y. Chen. 2009. Analysis of sex-specific spawning biomass per recruit of the sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the waters off eastern Taiwan. *Fish. Bull.*, 107: 265-277.
- Cleveland, W.S. & S.J. Devlin. 1988. Locally-weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *J. Am. Stat. Assoc.*, 83: 596–610.
- Cleveland, W.S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J. Am. Stat. Assoc.*, 74: 829–836.
- Collette, B.B., J.R. McDowell & J.E. Graves. 2006. Phylogeny of recent billfishes (Xiphiidae). *Bull. Mar. Sci.*, 79: 455–468.
- Cope, J.M. 2008. Issues and Advances in Data-Limited Stock Assessment: Experimentation through Simulation. PhD, School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, Seattle, 235p.
- De Martini, E.E., J.H. Uchiyama & H.A. Williams. 2000 Sexual maturity, sex ratio, and size composition of swordfish, *Xiphias gladius*, caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fish Bull.*, 98: 489-506.

- De Sylva, D.P. & P.R. Breder. 1997. Reproduction, gonad histology, and spawning cycles of north Atlantic Billfishes (Istiophoridae). *Bull. Mar. Sci.*, 60: 668-697.
- De Sylva, D.P. 1957. Studies on the age and growth of the Atlantic sail-fish, *Istiophorus americanus* (Cuvier), using length-frequency curves. *Bull. Mar. Sci. Gulf and Caribb.*, 7:1-20.
- Deriso, R.B. 1980. Harvesting strategies and parameter estimation for an age-structured model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 268-282.
- Deriso, R.B., T.J. Quinn & P.R. Neal 1985. Catch-age analysis with auxiliary information. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 815-824
- Diatta, Y., D.J. Die & M. Fitchett. 2010. Relative abundance indices for sailfish from the artisanal fleet from Senegal. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 65(5): 1725-1739.
- Díaz-Uribe, J.G., D. Audelo-Ramos & G. González-Medina. 1999. Caracterización de la pesca ribereña de la costa oaxaqueña: Río Copalita - Pinotepa Nacional. Informe Técnico Final del Proyecto. UMAR. 85p
- Die, D.J. 2006. Are Atlantic marlins overfished or endangered? Some reasons why we may not be able to tell. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 529-544.
- DOF. 2000. Acuerdo por el que se aprueba la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación, p. 5. Jueves 17 de agosto del 2000. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en internet URL. <http://www.inp.sagarpa.gob.mx>
- Doubleday, W.G. 1976. A least squares approach to analysing catch at age data. *Inter. Comm. for the North Atlantic Fish. Res. Bull.*, 12: 69-81.
- Drew, K., D.J. Die & F. Arocha. 2006. Understanding vascularization in fin spines of white marlin (*Tetrapturus albidus*). *Bull. Mar. Sci.*, 79: 847-852.
- Ehrhardt, N.M. 1992. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic. *Bull. Mar. Sci.*, 50: 292-301.
- Eldridge, M.B. & P.G. Wares. 1974. Some biological observations of billfish taken in the Eastern Pacific Ocean 1967-1970. Pages 89-101 En R.S. Shomura and F. Williams (Ed.) Proc. Int'l. Billfish Symp. Kaliua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 2. Review and Contributed Papers. U.S. Dept. Comm. NOAA Tech. Rpt. NMFS SSRF 675. 336 p.

- Esmaeili, H.R. & M. Ebrahimi. 2006. Length–weight relationships of some freshwater fishes of Iran. *J. App. Ichthyol.*, 22: 328–329.
- Farber, M.I., C.D. Jones & Diout. 1996. An exploratory stock-production model analysis of sail fish in the eastern Atlantic Ocean. *Inter. Comm Conserv. Atl. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap.*, 45(2): 295-304.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental. Volumen II. Vertebrados. Parte 2.* FAO, 2: 647-1200.
- Fisher, R.A. 1922. On the mathematical foundations of theoretical statistics. *Lond. Phil. Trans. A*, 223: 309-368.
- Fontoura, N.F., A.S. Braun & P.C Milani. 2009. Estimating size at first maturity (L50) from gonadosomatic index (GSI) data. *Neotrop. Ichthyol.* 7(2): 217-222.
- Fournier, D.A., Hampton, J., and Sibert, J.R. 1998. MULTIFAN-CL: a length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2105–2116.
- Francis, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish Biol.*, 36: 883-902.
- Fraser, C.Mc.L. 1916. Growth of the spring salmon. *Trans. Pacific Fish. Soc.*, 915: 29-39.
- Freire, K.M.F., A.V. Ferreira, R.P. Lessa & J.E. Lins-Oliveira. 1998. First studies on age and growth of sailfish (*Istiophorus albicans*) caught off northeastern Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 25: 7-12.
- Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish & Fisheries.*, 5: 86–91.
- Fry, F.E.I. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In *Fish physiology*. Vol. VI. Environmental relations and behavior. Edited by W.S. Hoar and D.J. Randall. Academic Press, London and New York. pp. 1–99.
- Gingerich, P.D. 2001. Rates of evolution on the time scale of the evolutionary process. *Genetica*, 112–113: 127–144.
- Goodyear, C.P. & F. Arocha. 2001. Size composition of blue and white marlins taken in selected fisheries in the Western North Atlantic. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 53: 249-257.

- Goodyear, C.P. 2002. Simulated responses of the size distribution of blue marlin to fishing mortality. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 54: 869-881.
- Grant, P.R. & R.B. Grant. 2002. Unpredictable evolution in a 30-year study of Darwin's finches. *Science*, 296: 707–711.
- Graves, J.E. & J.R. McDowell. 2003 Population structure of the world's billfishes: a genetic perspective. *Mar. Freshwater. Res.*, 54: 1–11.
- Greenough, J. & B. Rothschild. 1989. Billfish Management in the Pacific and Indian Oceans, En R H Stroud (Ed) Planning the future of billfishes: research and management in the 90 s and beyond, National Coalition for Marine Conservation, Savannah, GA
- Gunderson, D.R. 1980. Using r-K Selection Theory to Predict Natural Mortality. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 2266-2271.
- Guzmán-Arroyo, M. & J.O. López-Ramos. 1986. Descripción y registros de juveniles de pez vela (*Istiophorus platypterus*, Shaw & Nodder, 1791) (Pisces, Istiophoridae), en las costas del estado de Michoacán, Pacífico sur de México. *Cienc. Mar.*, 12 (2): 53-67.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Boca Raton, Fla: Chapman and Hall/CRC. 406 p.
- Halpern, D. (ed.) 1983. Equatorial Pacific warm event. *Tropical ocean-atmosphere Newsletter Special Issue*, 16: 1-120.
- Hampton, J., P. Kleiber, A. Langley & K. Hiramatsu. 2004. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean. SCTB17 Working Paper SA–1. 76p.
- Harley, S.J. and Maunder, M.N. (2003). A simple model for age-structured natural mortality based on changes in sex ratios. IATTC, 4th Meeting of the Scientific Working Group, La Jolla, USA, May 19-21 2003. (<http://iattc.org/PDFFiles/Age%20structured%20natural%20mortality.pdf>).
- Hastings, N.A.J. & J.B. Peacock. 1975. *Statistical distributions*. Butterworths and Co., London. 130p.
- Hedgepeth, M,Y. & J.W.Jr. Jolley. 1983. Age and growth of sailfish, *Istiophorus platypterus*, using cross section from the fourth dorsal spine. NOAA Technical Report NMFS 8: 131–135.

- Heino, M. & O.R. Godo. 2002. Fisheries-induced selection pressures in the context of sustainable fisheries. *Bull. Mar. Sci.*, 70:639–656.
- Hernández, A. & M. Ramírez. 1998. Spawning seasonality and length at maturity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) off the Pacific Coast of Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 63:459-467.
- Hernández-Herrera, A. 2001 Biología del pez vela al sur del Golfo de California, México. Tesis de Doctorado CIBNOR, 67p.
- Hernández-Herrera, A., A. Klett Traulsen & R. González Armas. 2002. Análisis de la actividad reproductiva de los picudos en la zona al Sur del Golfo de California. VIII Congreso Nacional de Ictiología. Puerto Ángel, Oaxaca, México.
- 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. *Pac. Sci.*, 54: 189-194.
- Hernández-Unzón, A. & I. González-Juárez, 2005. Variabilidad temporal de la zona ciclogénica del Golfo de Tehuantepec. *GEOS*, 25: 245.
- Hilborn, R. & M. Mangel. 1997. *The ecological detective. Confronting models with data. Monographs in population biology*. Princeton, NJ: Princeton Academic Press, 315 p.
- Hilborn, R., & C.J. Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. New York, Chapman y Hall.
- Hill, K.T., G.M. Cailliet & R.L. Radtke. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. *Fish. Bull.*, 87: 829-843.
- Hinton, M.G. & J. Alvarado-Bremer. 2007. Working group to review stock assessment. Stock structure of swordfish in the Pacific. *CIAT SAR-8-11*
- Hogg, R.V. & A.T. Craig. 1970. Introduction to mathematical statistics. MacMiBBan Co., London.
- Hoolihan, J. 2003. Sailfish movement in the Arabian Gulf: a summary of tagging efforts. *Mar. Freshw. Res.*, 54:509-513
- Hoolihan, J.P. 2006. Age and growth of Indo-Pacific sailfish *Istiophorus platypterus*, from the Arabian Gulf. *Fish. Res.*, 78: 218-226.

- Howard, D.W. & C.S. Smith. 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. National Oceanic and Atmospheric Administration. Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25NMFS-F/NEC-25
- Humanson, G.L. 1979. *Animal tissue techniques*. W.H. Freeman & Company, San Francisco
- Hunter, J.R. & B.J. Macewicz. 2003. Improving the accuracy and precision of reproductive information used in fisheries. En *Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm- and cold-water fish and squids* O.S. Kjesbu, J.R. Hunter and P.R. Witthames (Ed)
- Hunter, J.R., N. Lo & R. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. En: *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the Northern anchovy*. Reuben Lasker (Editor) *NOAA tech. rep.*, 36:67-77.
- ICCAT, 2001. Proc. 4th ICCAT Billfish workshop. ICCAT Collect. Sci. Papers 53: 1–375. http://www.iccat.int/es/pubs_CVSP.htm.
- ICCAT, 2009. Report of the 2009 sailfish. SCRS/2009/012 – Sailfish Assessment
- Jiménez-Quiroz M., R. Macias-Zamora & Vidaurri-Sotelo A. 2006. Relación entre la TSM y la pesca de pez vela en barcos palangreros en la ZEEM (1985-1989). XIV congreso Nacional de Oceanografía.
- Joanny, T., J.B.Amon Kothias, J.B. & Bard, F.X. 1995, Standardized indices of abundance 1988- 1994 for billfish (sailfish, blue marlin) and swordfish (*X. gladius*) off Côte d'Ivoire. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT., 44(3): 32-33.
- Jolley, J.W.Jr. 1977. The biology and fishery of Atlantic sailfish *Istiophurus platypterus*, from Southeast Florida. *Flor. Mar. Res. Publ.*, (28):1-31.
- Jones, C.D. & M.I. Farber. 1994. An exploratory stock production model analysis of sailfish *Istiophurus platypterus* in the western Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 42:335-345.
- Jones, C.D., M.I. Farber, T. Diouf, C.P. Goodyear & E.D. Prince. 1998. A Stock production model analysis of sailfish *Istiophurus platypterus* in the Eastern Atlantic Ocean using standardized indices of abundance. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 48: 287-292.
- Katsanevakis, S. & C.D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish Fish.*, 9:178–187.

- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.*, 81: 229-235.
- Kinnison, M. T., and A. P. Hendry. 2001. The pace of modern life II: from rates of contemporary microevolution to pattern and process. *Genetica*, 112–113: 145–164.
- Klett, T.R. 1987. Análisis preliminar de la pesquería de peces picudos en el Océano Pacífico Oriental y la Zona Económica Exclusiva de México. Informe interno CRIP. La Paz, INP. SEPESCA.
- Kopf, R.K., K. Drew & R.L. Humphreys Jr. 2010. Age estimation of billfishes (*Kajikia* spp.) using fin spine cross-sections: the need for an international code of practice. *Aquat. Living Resour.*, 23: 13–23.
- Kopf, R.K., P.S. Davie & J.C. Holdsworth. 2005. Size trends and population characteristics of striped marlin, *Tetrapturus audax* caught in the New Zealand recreational fishery. *New Zealand J. Mar. Freshw. Res.*, 39: 1145-1156.
- 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-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 13(2):277-418.
- Law, R. 2000. Fishing, selection, and phenotypic evolution. *ICES J. Mar. Sci.*, 57:659–668.
- Lee, R.M. 1920. A review of the methods of age and growth determination in fishes by means of scales. *Fish. Invest. London Ser.*, 24:32 p.
- Løkkeborg, S. & A. Bjørndal. 1992. Species and size selectivity in longline fishing: a review. *Fish. Res.*, 13: 311–322.
- Loomba, N.L. 1964. *Linear programming: an introductory analysis*. McGraw-Hill, New York. 284 p.
- Macías-Zamora R, Vidaurri-Sotelo AL, Santana-Hernández H, Valdez-Flores JJ, & Beltran-Pimienta R. 2001. Pez vela. In: SAGARPA (ed) Sustentabilidad y pesca responsable en México Evaluación y Manejo. Mexico pp 389-410.
- Macías-Zamora, R. 1993. Relaciones entre la pesca deportiva y comercial del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, México. 71 p.

- Macías-Zamora, R. 2002. Modelación espacio temporal de la pesquería del pez vela en el Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM, México 82 p.
- Macías-Zamora, R. 2006. Influencia de “El Niño” en la pesca deportiva en el océano Pacífico mexicano entre 1954-2001. XIV congreso Nacional de Oceanografía.
- Marcano, L., F. Arocha, J. Alió, J. Marcano & A. Larez. 2005. Actividades desarrolladas en el Programa expandido de ICCAT para Peces pico en Venezuela: período 2003-2004. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 58: 1603-1615.
- Marcano, L.A., J.J. Alió, F. Arocha & X. Gutiérrez. 2000. Tendencia de la pesquería artesanal de peces de pico en la costa central de Venezuela. Periodo 1988-1999. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 53: 291-297.
- Marcano, L.A., J.J. Alió, F. Arocha & X. Gutiérrez. 2001. Tendencia Actual de la pesquería artesanal de peces de pico en la costa central de Venezuela. Periodo 1988-1999. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 53: 281-290.
- Martínez-Rincón, R.O. 2005. Distribución espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Golfo de Tehuantepec y su relación con la temperatura superficial del mar y la concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. UNICACH. México. 70 p.
- Megrey, B. A. & V.G. Wespestad. 1988. A review of biological assumptions underlying fishery assessment models. In: Wooster W. S. (Ed). *Fishery Science and Management (Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies)*. Berlin, Springer-Verlag. 28: 31-69.
- Megrey, B.A. 1989. Review and comparison of age structured stock assessment models from theoretical and applied points of view. *Ame. Fish. Soc. Symp.*, 6: 8-48.
- Melo-Barrera F.N., R. Felix-Uraga & C. Quiñonez-Velazquez. 2003, Growth and length-weight relationship of the striped marlin, *Tetrapturus audax* (pisces: Istiophoridae), in Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Cienc. Mar.* 29, 305–313.
- Melo-Barrera, F.N. & R. Felix-Uraga. 2004. Estructura de tallas y edad del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Pisces: Xiphidae), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México *Rev. Biol. Trop.* 52(4): 981-989.
- Mensah, M.A. 1994. The catch statistics of the billfish fishery in Ghana. *ICCAT SCRS/1992/146, Rec Doc Sci.*, 41: 287- 305.

- Merret, N.R. 1970. Gonad development in billfish (Istiophoridae) from the Indian Ocean. *J. Zool.*, 160: 355-370.
- Methot, R.D. 2000. Technical description of the Stock Synthesis Assessment Program. U.S. Dept. Commer., *NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-43*, 46 p.
- Methot, R.D. 2005. Technical description of the Stock Synthesis II Assessment Program. NOAA Fisheries. Seattle, USA. http://www.sefsc.noaa.gov/sedar/download/S16_AW_04.pdf?id=DOCUMENT.
- Methot, R.D., Jr., and J. Hightower. 1990. Status of the West Coast sablefish stock in 1990 and recommendations to management in 1991. Status of the Pacific Coast groundfish fishery through 1990 and recommended acceptable biological catches for 1991, Appendix B. Pacific Fishery Management Council, Portland, Oregon.
- Miyabe, N. & W.H. Bayliff. 1987. Un examen de la pesca palangrera japonesa de atunes y especies espada en el Oceano Pacífico Oriental, 1971-1980. *Bull. Inter. Amer. Trop. Tuna Comm.*, 19(1): 123-159.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-Lopez. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 110: 179-195.
- Monreal-Gómez, M.A. & D.A. Salas-de-León. 1998. *Dinámica y estructura termohalina*, Cap 2: 13-26. En M. Tapia García (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Mourato, B.L., P. Pinheiro, F.V.H. Hasin, V. Basante, A.F. Amorim, E. Pimenta & C. Guimarães. 2009. Preliminary analysis of gonad development, spawning period, sex ratio and length at first sexual maturity of sailfish *Istiophorus platypterus* in Brazilian coast. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 64(6): 1927-1940
- N'Da, K. & G.R. Dedo. 2009. Exploitation du voilier *Istiophorus albicans* (Istiophoridae, Latreille, 1804) par la pêche artisanale maritime en Côte D'Ivoire. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 64: 1854-1857.
- Nakamura, I. 1985. FAO Species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. *FAO Fish. Synop.*, 5(125) : 65
- Nakano, N. & W.H. Bayliff. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific ocean, 1981-1987. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.*, 20: 187-355.

- Neter, J. M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim & W. Wasserman. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. New York: McGraw-Hill. 1408 p.
- Neuheimer, A.B. & C.T. Taggart. 2010. Can changes in length-at-age and maturation timing in Scotian Shelf haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) be explained by fishing?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 67: 854–865.
- Ortega-García, S., J.A. Trigueros-Salmeron, R. Rodríguez-Sánchez, S. Lluch-Cota & H. Villalobos. 2000. El Golfo de Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. En: D. Lluch-Belda, J. Elourduy-Garay, S. E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (Ed.) BAC Centros de Actividad biológica en el Pacífico Mexicano. CIB, CICIMAR, CONACYT. México. 367 p.
- Ortiz, M., E.D. Prince, J.E. Serafy, D.B. Holts, K.B. Daby, J.G. Pepperell, M.B. Lowry & J.C. Holdsworth. 2003. Global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Mar. Freshw. Res.*, 54: 489-509.
- 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*. Tesis Maestría, CICIMAR-IPN, México.
- Ovchinnikov, V.V. 1970. Swordfishes and billfishes in the Atlantic Ocean: Ecology and functional morphology. English translation by H. Mills, 1971, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Panfili, J., H. de Pontual, J.P. Troadec & P.J. Wright. 2002. *Manual of fish sclerochronology*. IFREMER-IRD co-edition. Brest, France. 464 p.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 39:175-192.
- Pawitan, Y. 2001. *In all likelihood: Statistical modeling and inference using likelihood*. Oxford: Oxford University Press, 528 p.
- Pennington, M. & T. Stromme. 1998. Surveys as a research tool for managing dynamics stocks. *Fish. Res.*, 37:97-106.
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. *Biometrics*, 39:281-286.
- Pennington, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. *Fish. Bull.*, 94:498-505.

- Polacheck, T., R. Hilborn & A. Punt. 1993. Fitting Surplus Production Models: Comparing Methods and Measuring Uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 2597-2607.
- Policansky, D. 1993. Fishing as a cause of evolution in fishes. In T. K. Stokes, J. M. McGlade, & R. Law, eds. *The Exploitation of Evolving Resources*, pp. 8–18. Springer-Verlag, Berlin.
- Prager, M.H. 1994. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. *Fish. Bull.*, 92:374-389.
- Prince, E.D. & B.B. Brown. 1991. Coordination of the ICCAT enhanced research program for billfish. En: *Creel and angler surveys in fisheries management. Am. Fish. Soc. Symp.*, 12:13-17.
- Prince, E.D. & C.P. Goodyear. 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fish. Oceanogr.*, 15(6): 451–464.
- Prince, E.D., D.B. Holts, D. Snodgrass, E.S. Orbesen, J. Luo, M.L. Domeier & J.E. Serafy. 2006. Transboundary movement of Sailfish, *Istiophorus platypterus*, off the Pacific coast of central America. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 827-838.
- Prince, E.D., D.W. Lee, C.A. Wilson, & J.M. Dean. 1986. Longevity and age validation of a tag-recaptured Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, using dorsal spines and otoliths. *Fish. Bull.*, 84:493–502.
- Quinn, T.J. & R.B. Deriso. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford: Oxford University Press. 542 p.
- Ramírez-Pérez, J.S. 2005. Edad, crecimiento y mortalidad del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) en la costa sur de Sinaloa, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, México. 50p
- Ramos-Carrillo, S., M.C. Alejo-Plata, G. Cerdaneres-Ladrón de Guevara & G. González-Medina. 2007. Estimación de abundancia de la especie dorado (*Coryphaena hippurus*) en el Pacífico sur de México (Región 2) y diseño de material didáctico para los fines de la pesca. Informe Final. Universidad del Mar, 72p.
- Reyes-Hernández, C.A. & P. Murad. 2005. Estructura hidrográfica del Golfo de Tehuantepec en septiembre de 2004: Crucero TEHMAL04. *GEOS*, 25(1): 246.
- Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.*, 10:290–300.

- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191: 382 p
- Salgado-Ugarte, I.H., J.L. Gómez-Márquez & B. Peña-Mendoza. 2005. Métodos Actualizados para Análisis de Datos Biológico-Pesqueros. FESZARAGOZA. UNAM, México. 240 p.
- Santamaria, N., G. Bello, A. Corriero, M. Deflorio, R. Vassallo-Agius, T. Bök & G. De Metrio. 2009. Age and growth of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Osteichthyes: Thunnidae), in the Mediterranean Sea. *J. App. Ichthyol.*, 25: 38-45.
- Santana-Hernández, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico mexicano (1983-1996) y su relación con la temperatura superficial del mar. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima, México. 123 p.
- Saout, C., Y.M. Paulet & A. Duinker. 1999 Histological study on the early stages of oogenesis in *Pecten maximus*: a new approach with quantitative semithin histology. 129-130. Bergen, Norway, 12th Inter Pectinid Workshop.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38, 1128-1140.
- Sharpe, D.M.T. & A.P. Hendry. 2009 Life history change in commercially exploited fish stocks: an analysis of trends across studies. *Evol. Appl.*, 2: 260–275
- Shimose, T., M. Fujita, K. Yokawa, H. Saito & K. Tachihara. 2009. Reproductive biology of blue marlin *Makaira nigricans* around Yonaguni Island, southwestern Japan. *Fish Sci.*, 75:109–119.
- Shin, Y.J., M.J. Rochet, S. Jennings, J.G. Field & H. Gislason. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 384-396.
- Shomura, S. 1980. Summary report of the billfish stock assessment workshop on Pacific resources, NOAA-TM-NMFS-SWFC-5.
- Skillman, R.A. 1989. Status of Pacific billfish stock. In Planning the future of billfishes. Part 1 National Coalition for Marine Conservation, Inc. Savannah, Georgia. 179-195

- Skillman, R.A. 2000. Pacific billfishes and the assessment process. En: K. Hinman (Ed) Getting Ahead of the curve. Conserving the Pacific Ocean's Tuna, Swordfish, billfishes and Sharks. National Coalition for Marine Conservation.
- Sosa-Nishizaki, O. 1998. Revisión histórica del manejo de los picudos en el Pacífico mexicano. *Cienc. Mar.*, 24(1): 95-111.
- Sparre, P. & S.C. Venema.1992. *Introduction to tropical fish stock assessment*. Part 1: Manual. FAO Fish. Tech. Pap. 306:
- Speare, P. 2003. Age and growth of black marlin, *Makaira indica*, in east coast Australian waters. *Mar. Freshw. Res.*, 54:307-14.
- Squire, J. & A. Muhlia-Melo. 1993. A review of striped marlin (*T. audax*), swordfish (*X. gladius*), and sailfish (*I.platypterus*) fisheries and resource management by Mexico and the United States in the northeast Pacific Ocean, NMFS SFSC Admin. Rep. LJ-93-06.
- Squire, J.L 1985. Relationship of Sea Surface Temperature Isotherm Patterns off Northwestern Mexico to the Catch of Striped Marlin, *Tetrapturus audax*, off Southern California. *Mar. Fish. Rev.*, 7(3): 43-47.
- Squire, J.L. & D.W.K. Au. 1990. Striped marlin in the North Pacific: A case for local depletion and core area management. En: R.H. Stroud (Ed) Proc. Sec. Int. Billfish Symp., Kailua-Kona, Hawaii, 1-5 August 1988. Part 2, Contr. Papers, pp. 199-214.
- Squire, J.L. & Z. Suzuki. 1990. Migration trends of striped marlin (*Tetrapterus audax*) in the Pacific ocean, pp 67-80, En R.H. Stroud (Ed) Planning the future of billfishes: research and management in the 90 s and beyond, National Coalition for Marine Conservation, Savannah, GA.
- Stearns, S.C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, Oxford.
- Strasburg, D.W. 1970. A report on the billfishes of the central Pacific Ocean. *Bull. Mar. Sci.*, 20: 575-604.
- Sullivan, P.J., H.L. Lai & V.F. Gallucci. 1990. A Catch-at-length analysis that incorporates a stochastic model of growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 184-198.
- Thompson, W.J., R.L. Elsberry & R.G. Read. 1981. An analysis of Eastern north Pacific Tropical Cyclone Forecast Errors. *Mon. Weather Rev.*, 12: 1930-1938.

- Tserpes, G. & N. Tsimenides. 1995. Determination of age and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., 1758, in the eastern Mediterranean using anal-fin spines. *Fish. Bull.*, 93:594-602.
- Tyler, C.R. & J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. *Rev. Fish Biol. and Fish.*, 6: 287-318.
- Ueyanagi, S. 1974. A Review of the world comercial fisheries for billfishes. In: S. Shomura & S. Williams (eds.) Proceedings of the Internacional billfish symposium Kailua-Kona, Hawai. 9-12 august 1092. Part 2 Review and Contribute. *NOAA Tech Rep., NMFS SSRF.*, 675: 1-11
- Uosaki, K. & W.H. Bayliff. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. *IATTC Bull.*, 21: 273-488.
- Uozumi, Y. 2003. Historical perspective of global billfish assessment. *Mar. Freshw. Res.*, 54:555-566.
- Vázquez-Gutierrez, F., G. Salvador López, A. Ramírez Álvarez, M. Turner Garcés, A. Frausto Castillo & H. Alexander Valdez, 1998. Química del agua. En: M. Tapia-Garcia (Ed.), El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 35-50.
- Venzon, D.J. & S.H. Moolgavkar. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Appl. Stat.*, 37:87-94.
- Vetter, E.F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fish. Bull.*, 86(1): 25-43.
- Vidaurri-Sotelo A.L., R. Macías-Zamora & H. Santana-Hernández. 1998. Nota sobre juveniles de pez vela, *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1792) capturado en el Pacífico mexicano. *Cien. Mar.*, 24(4) : 499-205.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. 11). *Hum. Biol.*, 10:181-213.
- Wallace, R.A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Amer. Zool.*, 21:325-343
- Welch, D.W. & G.A. McFarlane. 1990. Quantifying growth of female Pacific hake (*Merluccius productus*): an example of measuring uncertainty and bias in non-linear parameter estimation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47:672-681.

- Welch, D.W. & R.P. Foucher. 1988. A maximum likelihood methodology for estimating length-at-maturity with application to Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45:333-343.
- West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Aust. J. Freshw. Res.*, 41:199-222.
- Wyrki, K., 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 9: 271–304.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4^a Ed. Prentice Hall. New Jersey. 663 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 8. Diámetro estimado (μm) de cada moda y número de modas por cada estadio de desarrollo ovárico. Se presenta el intervalo de confianza y la desviación estándar (σ).

Estadio de madurez	Moda 1 (μm)	σ	Moda 2 (μm)	σ	Moda 3 (μm)	σ	Moda 4 (μm)	σ	Moda 5 (μm)	σ	Moda 6 (μm)	σ
II	30.3 (29.2-31.2)	8.4	60 (58.8-61.1)	7.9	80 (78.9-81.1)	4.8						
III	29.7 (29-30.4)	11.6	61.9 (61.1-62.7)	13.9	115.1 (113.5-116.6)	21	174.8 (172.6-177)	12	224.8 (222.8-226.8)	9		
IV	27.4 (27.1-27.8)	2.7	61.9 (59.8-63.9)	18.2	131.9 (173-179.6)	15.6	176.3 (173-179.6)	15.6	226.3 (223.2-229.3)	9.9	280.2 (274.8-285.5)	18.5
V	26 (25.3-26.6)	2.1	64 (61.8-66.2)	11.2	304 (294.7-315)	21.8	377.4 (368.8-385.9)	18.3				
VI	26.2 (25.4-27.1)	6.4	71 (68.3-73.7)	20.3	135 (132.8-137.2)	10	170.1 (165.6-174.6)	10				

ANEXO 2

Tabla 9. Salidas del modelo CASA para *Istiophorus platypterus* en el Golfo de Tehuantepec.

Talla	2005			2006		
	Tasa de captura	F	s	Tasa de captura	F	S
54.5	-	-	-	-	-	-
64.5	-	-	-	-	-	-
74.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
84.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
94.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
124.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
134.5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
144.5	0.03	0.03	0.05	0.04	0.05	0.09
154.5	0.26	0.33	0.22	0.48	0.74	0.51
164.5	0.70	1.39	0.62	0.82	2.11	0.94
174.5	0.78	1.82	0.92	0.80	1.91	1.00
184.5	0.80	1.91	0.99	0.75	1.65	1.00
194.5	0.52	0.83	1.00	0.61	1.10	1.00
204.5	0.02	0.03	1.00	0.12	0.14	1.00
214.5	0.02	0.02	1.00	0.04	0.05	1.00
224.5	0.02	0.02	1.00	0.22	0.27	1.00
234.5	0.54	0.89	1.00	0.23	0.29	1.00
Promedio	0.217	0.428		0.274	0.554	

Tabla 9 . Continuación.

Talla	2007			2008		
	Tasa de captura	F	s	Tasa de captura	F	S
54.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
64.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
74.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
84.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
94.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
104.5	0.00	0.00	0.00	-	-	-
114.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
124.5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
134.5	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
144.5	0.05	0.06	0.08	0.01	0.01	0.04
154.5	0.35	0.48	0.29	0.33	0.45	0.41
164.5	0.79	1.87	0.71	0.77	1.74	0.94
174.5	0.86	2.49	0.95	0.85	2.35	1.00
184.5	0.77	1.74	0.99	0.84	2.22	1.00
194.5	0.81	2.04	1.00	0.74	1.61	1.00
204.5	0.13	0.16	1.00	0.48	0.74	1.00
214.5	0.13	0.16	1.00	0.08	0.09	1.00
224.5	0.14	0.16	1.00	0.30	0.40	1.00
234.5	0.33	0.45	1.00	0.15	0.18	1.00
Promedio	0.230	0.505		0.35	0.75	

ANEXO 3

A partir del presente trabajo de investigación doctoral se elaboraron dos artículos de investigación.

Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., E. Morales-Bojórquez & R. Rodríguez-Sánchez. 2011. Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Marine Biology Research*, 7(5): en prensa.

Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., E. Morales-Bojórquez, C. Rodríguez-Jaramillo, A. Hernández-Herrera & A. Abitia-Cárdenas. Seasonal reproduction of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the southeast Mexican Pacific. *Fisheries Science*, sometido.



ORIGINAL ARTICLE

Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico

GENOVEVA CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA^{1,2}, ENRIQUE MORALES-BOJÓRQUEZ^{3*} & RUBÉN RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ¹

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México, ²Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, Oaxaca, México, and ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC, La Paz, Baja California Sur, México

Abstract

We analysed the recreational-dependent and the commercial fishery data of *Istiophorus platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. We estimated the age and growth of sailfish in our study based on growth rings in the cross-sections of the fourth dorsal fin spine. We sampled 4976 individuals, with length and weight data collected from 2000 to 2008. We analysed the age of 535 sailfish, with their individual growth estimated by using two models. The first was the Schnute generalized-growth model and the second was the von Bertalanffy growth function. The parameters in each model and their confidence intervals (CI) were computed. The best candidate model was selected using Akaike's information criterion. We found the growth curve for sailfish from the Gulf of Tehuantepec is based on the three-parameter model rather than the generalized Schnute model. The parameters estimated and confidence intervals were (a) mean asymptotic eye-fork length = 180.6 cm (CI = 176–186 cm), (b) Brody growth coefficient = 0.36 (CI = 0.34–0.39), and (c) hypothetical age at length zero = –0.24 (CI = –0.30 to –0.18). Consequently, we believe that the von Bertalanffy growth function adequately described the individual mean growth for this species in the region.

Key words: *Sailfish*, *Istiophorus platypterus*, *AIC*, *fin spines*, *ageing*

Introduction

The sailfish is a member of the family Istiophoridae and is highly regarded by the recreational fishery industry for its spectacular game-fish characteristics. Its distribution is in tropical and subtropical waters and it inhabits the pelagic realm of the Pacific and Indian Ocean (Nakamura 1985). The species *Istiophorus platypterus* (Shaw & Nodder, 1792) is part of the well-known sport fishery in the Mexican Pacific. The Mexican government allows sailfish to be taken with sport fishing gear only. The legal protocol for this is the National Fisheries Chart (Álvarez-Torres et al. 2002), which seeks to avoid the overexploitation of this species in the Mexican Pacific. The federal government controls the number of licences and limits the catch to one billfish (marlin, sailfish, spearfish, or swordfish) per boat per day. The main

fishing grounds for sailfish are along the coast of Colima and Sinaloa, although the species is also distributed along the coast of Jalisco, Nayarit, Baja California Sur, Guerrero, Oaxaca, and Chiapas (Figure 1). According to the National Fisheries Chart, the catch-per-unit effort (CPUE) in the central and south Mexican Pacific declined from 2.7 sailfish/fishing day in 1957 to 0.5 sailfish/fishing day in 1999. The area with highest CPUE is in waters off Colima. Presently, there are no biological reference points indicating the level of fishing mortality or the biomass; consequently the status of the stock of the sailfish sport fishery off Sinaloa and Colima is assumed at risk (DOF 2000).

For successful fishery management, elements of reproduction, recruitment, age, and growth must be understood. For sailfish in the Mexican Pacific, the reproductive period is in summer and fall when

*Correspondence: Enrique Morales-Bojórquez, ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC, Mar Bermejo 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México, CP 23090; E-mail: emorales@cibnor.mx

Published in collaboration with the University of Bergen and the Institute of Marine Research, Norway, and the Marine Biological Laboratory, University of Copenhagen, Denmark

2 G. Cerdanarés-Ladrón de Guevara et al.

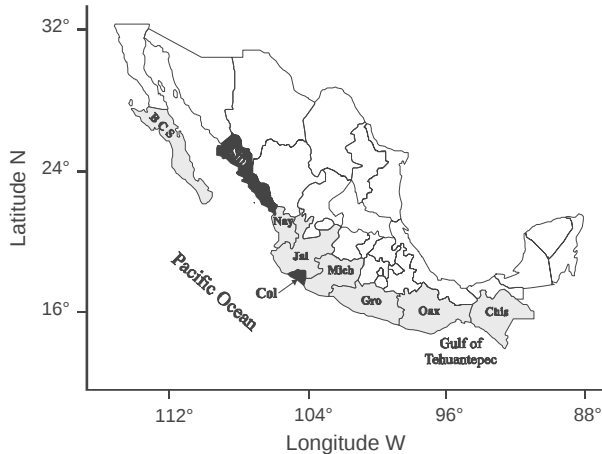


Figure 1. Study zone in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. The dark areas of the figure show the coast of the Mexican states with the main fishing grounds off Colima (Col) and Sinaloa (Sin). In grey, the coast of the Mexican states where *Istiophorus platypterus* is commonly distributed; Baja California Sur (BCS), Nayarit (Nay), Jalisco (Jal), Michoacán (Mich), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), and Chiapas (Chis).

the sea surface temperature is between 27 and 30°C (Hernández & Ramírez 1998). The available data for *I. platypterus* are often biased because the information is obtained from the sport fishery in the central Mexican Pacific, where only the largest individuals are targeted. Thus, crucial biological information on smaller individuals of the population is often lacking. The models only describe the population dynamics of the adult individuals (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga 1998; Hernández & Ramírez 1998). Studies using the length frequency data, estimated age, and growth from the Atlantic sport-fishery data reported that sailfish grow rapidly over the first 4 years (De Silva 1957). Jolley (1977) and Hedgepeth & Jolley (1983) used dorsal fin spines to report eight age-classes of sailfish. In the Mexican Pacific, the sport-fishery-dependent data showed that the migration of *I. platypterus* in the region modifies the length structure of the population, with the length structure varying according to the season (Macías-Zamora et al. 2001; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga 1996). In these studies the von Bertalanffy growth curve has been fitted using recreational-dependent fishery data, assuming normal distribution and unequal variances of the residuals per age-class, with the results showing overestimation of the sizes of the younger individuals (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga 1998; Macías-Zamora et al. 2001).

In our work we analysed the recreational-dependent and the commercial fishery data of *I. platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico (Figure 1). In our study, we had access to a broad length-structure of sailfish. Although the National Fisheries Chart recommends the species

be reserved for recreational fishery, there is an illegal catch of this species, principally due to the absence of surveillance in areas difficult to access. According to Uosaki & Bayliff (1999), the Gulf of Tehuantepec is a core area for sailfish distribution in the tropical Pacific. The ability to collect sailfish samples of different sizes and ages in the region allowed us to update biological information for this species in the southern zone of its Mexican Pacific distribution. The objectives of our study were to determine age, growth, and stock structure for sailfish from the southeastern Mexican Pacific.

Materials and methods

Sailfish *Istiophorus platypterus* ($n=4976$) were sampled from the commercial and recreational catch during 2000–2008 from five locations in the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico (Figure 1). For each fish the total body weight (TW) was measured to the nearest 0.1 kg and the eye-fork length (EFL) was measured to the nearest cm. To estimate the relationship between the eye-fork length and the body weight we used the power equation $TW = \alpha \times EFL^\beta$, where α is a coefficient related to the body form and β is an exponent indicating isometric growth when equal to 3 and allometric growth when significantly different from 3 (Esmacili & Ebrahimi 2006; Aguirre et al. 2008). The estimated value of β was analysed with Student's t -test (Zar 1999) to determine whether growth was isometric or allometric.

The ages of 535 sailfish were interpreted from the fourth dorsal fin spine. We used this calcified structure because it provides more precise age estimates and are easier to collect and process than the sagittal otoliths (Hill et al. 1989). In addition, the spines have been used extensively and successfully to age the swordfish *Xiphias gladius* (Ehrhardt 1992; Tserpes & Tsimenides 1995; Chiang et al. 2004), sailfish *Istiophorus platypterus* (Alvarado-Castillo & Félix-Uraga 1996; Chiang et al. 2006), and black marlin *Makaira indica* (Speare 2003). The spines were cut to obtain a cross-section, each about 0.4 mm thick. The cross-sections were taken at a distance of one-half the length of the condyle base with a Buehler Isomet low-speed saw. The sections were submerged in water in a Petri dish and viewed with a stereoscopic microscope by transmitted light. The annuli were counted based on the recognition of paired opaque and translucent growth bands (Figure 2). According to Jolley (1977) and Chiang et al. (2004), the direct reading was based on the count of the annuli. An annual period was assumed for each adjoining pair of opaque and translucent bands. Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996, n the

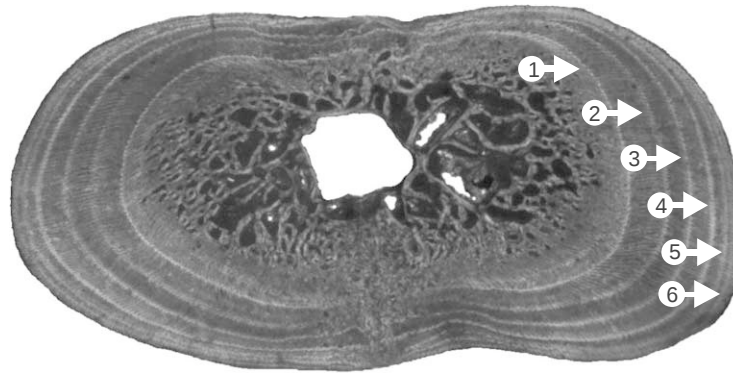


Figure 2. Cross-section of the fourth dorsal fin spine of *Istiophorus platypterus*. The translucent (arrows) and opaque bands are shown.

Gulf of California) and Chiang et al. (2004, in Taiwan) both reported that the presence of one opaque and one translucent band showing one year of growth. The spine sections were interpreted three times by one person; additional readings were made when some counts did not agree (Santamaria et al. 2009). The precision in the identification of ages was analysed with the coefficient of variance proposed by Chang (1982) as

$$CV_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum (X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j} 100\%, \quad (1)$$

where CV_j represents the variation coefficient to the j th fish, R is the number of times that the age was estimated for each fish, X_{ij} represents the i th estimation of age of the j th fish, and X_j is the mean value of the annulus of the j th fish.

Back-calculation of fish length

We selected younger individuals with at least four visible radii. The nucleus of the spine section to the outer edge and the distance between each growth ring were measured. The mean value and variance of each ring were estimated. Using these estimates we applied a final correction of age estimates for the rest of the spine samples, and assigned this to the spine samples that were missing early bands by comparing the radii of the first four bands to the mean and 95% confidence limits (Hill et al. 1989). Consequently, the correction of age estimates was made to coincide with the maximum number of length measurements for each age group, using the spine with the first annulus visible as a pattern. The number of empty cells was related to the number of missing rings, and thus it was possible to estimate the real age for each fish sampled (Freire et al. 1998).

To infer length at an earlier age from each fish, the distance from the nucleus of the spine section to the outer edge (R_T) and distance between each growth

ring (R_n) were measured in microns with the Image-Pro software, after calibration against an optical micrometer. This was done because the nucleus of the spine is reabsorbed in older individuals and the first annuli disappeared as the spine radius increases its length. Consequently, there is an underestimation of the age for older fish. The back-calculation allows for estimating the fish length in earlier life and thus estimate the correct age (Drew et al. 2006). Two approaches were used in this study. The first was that the relationship between the *EFL* at capture and R_T is linear, and the back-calculation function is (Fraser 1916; Lee 1920):

$$L_i = a + (L_c - a) \times \left(\frac{R_i}{R_T} \right), \quad (2)$$

where L_i =*EFL* at age i , L_c =*EFL* at capture, R_i =spine radius at age i , R_T =total radius, and a the L -intercept of the regression line $L_c = a + b \cdot R_T$.

The second approach was that the relationship between L_c and R_T is nonlinear, $L = c \times R_T^d$ in the back-calculation function is according to Monastyrsky (Bagenal & Tesch 1978)

$$L_i = \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^d \times L_c \quad (3)$$

To determine which equation best describes the relationship between the *EFL* at capture (L_c) and spine radius (R_T) we used the r^2 criterion.

Periodicity of growth increments

The marginal increment ratio (MIR) was used to validate the periodicity of growth increments in the spine (Chiang et al. 2004). The equation used was

$$MIR = \frac{(R_T - R_n)}{R_n - R_{n-1}}, \quad (4)$$

where R_T =spine total radius, R_n =radius of ring n , and R_{n-1} =radius of ring $n-1$. The mean monthly MIR and its standard error were computed. When

4 G. Cerdaneres-Ladrón de Guevara et al.

those were minimum values we consider this as the formation time.

Growth function

The eye-fork to length-at-age data were fitted to the von Bertalanffy (1938) growth model

$$\hat{L}(t) = L_{\infty} [1 - \exp^{-K(t-t_0)}], \quad (5)$$

where L_{∞} is the mean asymptotic eye-fork length, t is age (years), t_0 is the hypothetical age at length 0, and k is the Brody growth coefficient (Ricker 1975; Chiang et al. 2004).

The sampling size distribution and age structure of the sailfish population are usually biased. This condition is commonly seen because the data are obtained from sport fishing, where the catch is reported for only the largest individuals. Consequently, the von Bertalanffy growth model is difficult to fit. An alternative is the Schnute (1981) growth model, a generalized growth model allowing parameter estimation in the absence of very young or old individuals. The model is:

$$L(t) = \left[l^{\rho} + (\delta^{\rho} - l^{\rho}) \frac{1 - \exp^{-\lambda(t-\tau_1)}}{1 - \exp^{-\lambda(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{\rho}}, \quad (6)$$

where l and δ are the sizes at time τ_1 and τ_2 observed in the biological samples of sailfish and are the younger and older individuals, λ is the constant of relative growth (equivalent to k in the von Bertalanffy model), and ρ is the rate of relative growth (Schnute 1981). The parameters to be estimated in the model are l , δ , λ , and ρ .

We assumed a multiplicative error in the estimation of $L(t)$ and the expression was $L_t = \hat{L}_t \exp^{\varepsilon_i}$, where $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$. The θ parameters in the von Bertalanffy model were L_{∞} , t_0 , and k (Equation (5)). For the Schnute model the θ parameters were l , δ , λ and ρ (Equation (6)). The parameters were estimated by minimizing the negative log-likelihood estimator (Hilborn & Mangel 1997) with the Newton algorithm (Neter et al. 1996).

$$-\ln L(\theta|data) = \sum_i \left[-\frac{1}{2} \ln(2\pi) \right] - \left[\frac{1}{2} \ln(\sigma^2) - \left(\frac{\ln L(t) - \ln \hat{L}(t)^2}{2\sigma^2} \right) \right] \quad (7)$$

For the standard deviation (σ) the analytical solution was proposed as

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln L(t) - \ln \hat{L}(t)]}, \quad (8)$$

where n represents the number of ages observed in the sailfish samples.

For the Schnute growth function, when the parameters l , δ , λ and ρ were estimated, the estimation of L_{∞} and t_0 (defined by Schnute as τ_0) were from the equations (Schnute 1981)

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\exp^{\lambda \tau_2} \delta^{\rho} - \exp^{\lambda \tau_1} l^{\rho}}{\delta^{\rho} - l^{\rho}} \right] \quad (9)$$

and

$$L_{\infty} = \left[\frac{\exp^{\lambda \tau_2} \delta^{\rho} - \exp^{\lambda \tau_1} l^{\rho}}{\exp^{\lambda \tau_2} - \exp^{\lambda \tau_1}} \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (10)$$

The solutions for Equations (9) and (10) assume that $\lambda \neq 0$, $\rho \neq 0$ (Schnute 1981).

Confidence intervals

To estimate the confidence intervals (CI) for the parameters in Equations (5) and (6), we used the likelihood-profile method (Venzon & Moolgavkar 1988; Hilborn & Mangel 1997) because it can be used to determine confidence intervals for the parameters either jointly or individually. The confidence intervals for the θ parameters were estimated based on the χ^2 distribution with m degrees of freedom (Zar 1999). The confidence interval was defined as all values of θ that satisfy the inequality

$$2[L(Y|\theta) - L(Y|\theta_{best})] < \chi_{1,1-\alpha}^2, \quad (11)$$

where $L(Y|\theta_{best})$ is the negative log-likelihood of the most likely value of θ and $\chi_{1,1-\alpha}^2$ are the values of the χ^2 distribution with 1 degree of freedom at a confidence level of $1 - \alpha$. Thus, the 95% confidence interval for θ encompasses all values of θ that are twice the difference between the negative log-likelihood and the negative log-likelihood of the best estimate of θ that is less than 3.84 for one parameter (Haddon 2001; Pawitan 2001). The likelihood profile shape was estimated for the θ_i that generates a negative log-likelihood equal to the maximum negative log-likelihood $L(Y|\theta_{best})$ minus half the required χ^2 value (3.84/2). The estimator is (Haddon 2001)

$$L(Y|\theta) = L(Y|\theta_{best}) - \frac{\chi_{1,1-\alpha}^2}{2} \quad (12)$$

When considering more than one parameter, the confidence intervals become wider. This only occurs if there is any correlation (covariance) between parameters because if there were no parameter correlation then there would be no interference between the parameters and the confidence intervals would be unbiased (Haddon 2001). Welch & McFarlane (1990) explained that the von Bertalanffy growth model has the parameters correlated. An alternative solution is to compute the likelihood-based confidence region estimated from contours of

constant log-likelihood over the objective surface. This procedure was applied to the L_{∞} and k parameters jointly to avoid the problem of parameter correlation. In this case, Equation (11) must satisfy the inequality associated with the χ^2 distribution with 2 degrees of freedom, where the reference value is less than 5.99 for two parameters (Haddon 2001; Pawitan 2001). The values of 3.84 or 5.99 are obtained from statistical tables of χ^2 distribution (Zar 1999).

Akaike's information criterion

We solved two candidate growth-models with a different number of θ parameters. The comparison between candidate models was analysed with Akaike's information criterion (AIC). The smallest AIC is for the best model (Haddon 2001; Chiang et al. 2004). The von Bertalanffy and Schnute functions were analysed as:

$$AIC = (2 \times -\ln L) + (2 \times \theta), \quad (13)$$

where $-\ln L$ was the negative log-likelihood estimated in Equation (7) and θ is the number of parameters in each model.

Results

The eye-fork length frequency and total body-weight frequency distributions for the 4976 individuals are shown in Figure 3. The eye-fork length frequency distribution for 4976 individuals is 55–240 cm, mean = 159.8 cm, and standard deviation (s) = 13.4 cm. The weight frequency distribution, based on 3344 individuals, is 1.6–69.6 kg, mean = 27.9 kg, and s = 6 kg. The eye-fork length to body weight relationship was expressed as $TW = 5 \times 10^{-5} \times EFL^{2.6}$ ($r^2 = 0.7$, p -value < 0.05) (Figure 4). According to the Student's t -test, the β parameter was significantly different from 3 (t -test, p -value < 0.05), thus indicating allometric growth of *Istiophorus platypterus*.

From 535 spines sampled we could only successfully read 477 spines. The age estimation precision between readings varied by 11%, but a chi-squared test revealed no significant differences between them (χ^2 test, p -value < 0.05). The first four rings were visible in 79% of the spine samples. We corrected 21% of the spine samples adding a maximum of three missing rings. The corrected age groups and the mean and standard error of rings for each age group are in Figure 5. A maximum of nine age groups were estimated by direct reading. After the correction of missing rings, 11 age groups were evident in our analysis (Figure 6). The age-length key for *I. platypterus* is shown in Table I. Our samples

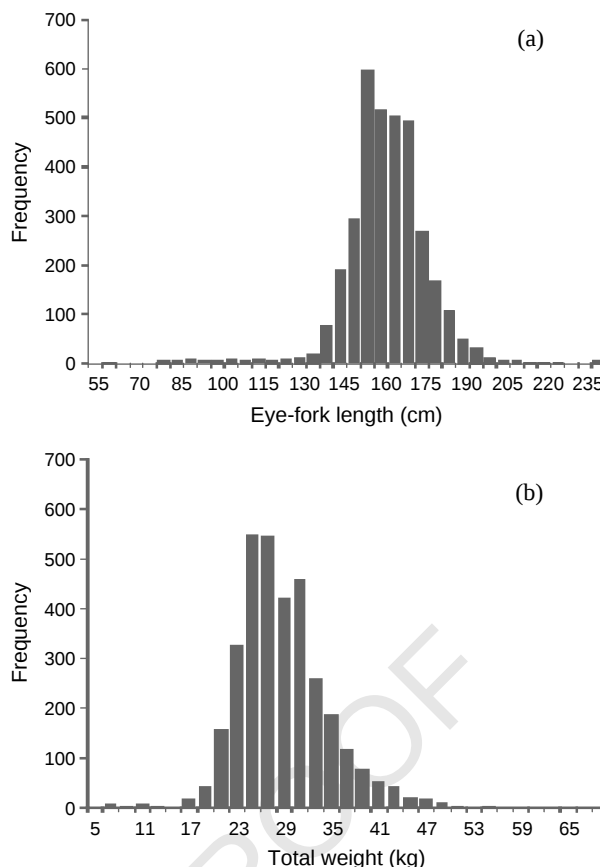


Figure 3. Eye-fork length-frequency distribution; $n=4976$ (a) and total body weight frequency distribution; $n=3344$ (b) of *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

showed that age-class 5 was the most abundant (32%), followed by age-class 6 (24%) and age-class 4 (14%).

The relationships between the *EFL* and radius ring were analysed assuming a linear and power function. Figure 7 shows the models fitted to the data. According to the r^2 criterion the better fit was the power function expressed as $y = 47.6x^{0.81}$

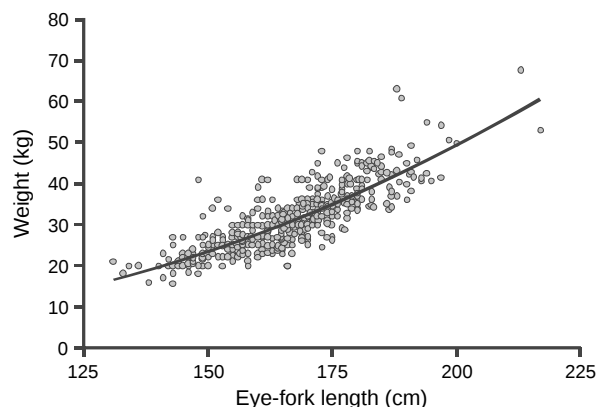


Figure 4. Total body weight and eye-fork length relationship for *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

6 G. Cerdanarés-Ladrón de Guevara et al.

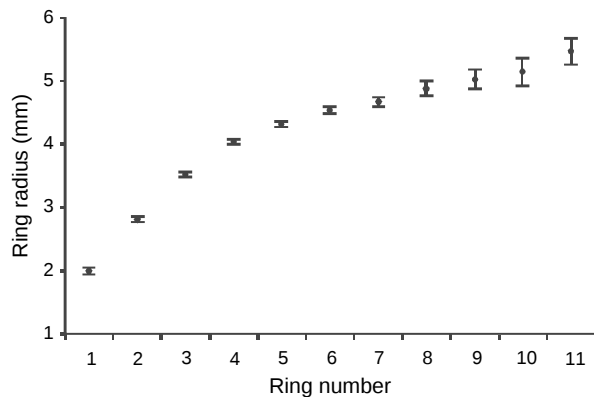


Figure 5. Number of growth rings and their ring radius for sailfish *Istiophorus platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Means ($\pm$ SE) are shown.

($r^2=0.82$, p -value < 0.05 , $n=480$), the linear function was $y=25.5x+43.9$, and it had a correlation of $r^2=0.76$ (p -value < 0.05 , $n=480$). For both functions the mean length-at-age from each relationship, linear or power, are shown in Table I. The comparison between the mean length-at-age showed a significant difference (t -test: p -value < 0.05). Consequently, we used the power function for back-calculation, because these values did not show overestimation of the mean length-at-age back-calculated in comparison with the linear function (Table II).

The monthly means of the marginal increment ratio were higher during March and August, with the mean value of the MIR during this time period was 0.64 (Figure 8). In this period, we did not estimate a significant difference among the MIR values (ANOVA: p -value < 0.05). After August the MIR declined with the MIR mean value of 0.45 from September to December (Figure 8). The ANOVA test did not show a significant difference during this period (ANOVA: p -value < 0.05). During January the species is not available in the zone and February shows the transition between formations of growth

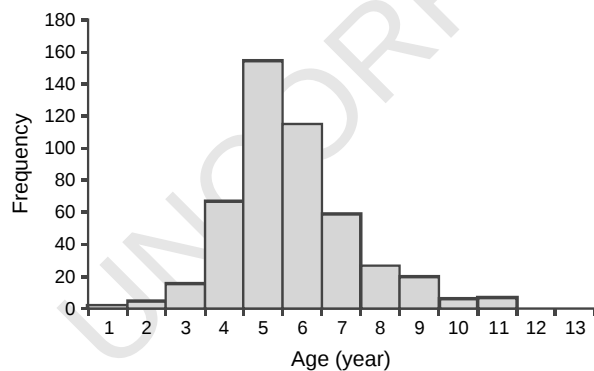


Figure 6. Age composition of *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

Table I. Age length key for *Istiophorus platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

EFL (cm)	Age group (year)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80	1										
85		2									
90											
95											
100											
105											
110	1										
115		2									
120		1	1								
125											
130			2	1	1						
135				1	1						
140			2	5	6	2					
145			4	2	9	7	2				
150			1	7	12	9	5	1		1	
155			3	10	27	10	7	2		1	
160			1	18	30	11	4	3	3	1	
165			2	8	28	21	5	4	5		
170				3	28	23	18	4	3		
175				5	8	11	6	5	2		2
180				4	4	9	7	2	3	2	1
185				2		7	2	2	1	1	1
190				1		2	2	2			1
195						3			1		1
200									1		
205								1	1		
210											
215									1		
220											1
<i>n</i>	2	5	16	67	154	115	58	26	21	6	7
Percent (%)	0.4	1.0	3.3	14.0	32.3	24.1	12.1	5.4	4.4	1.2	1.5

rings. From these estimates of the MIR we concluded that one growth ring is formed annually. This occurs during September to December.

The value of the mean asymptotic eye-fork length had similar values and the same was estimated for the Brody growth coefficient. However, the value of the hypothetical age at length 0 was different

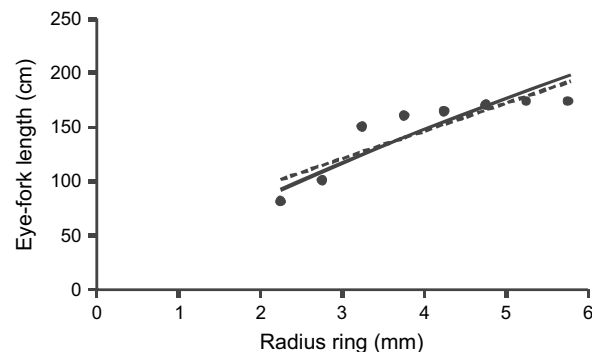


Figure 7. Linear (dashed line) and power (solid line) relationship between eye-fork length (cm) and spine radius (mm) of *Istiophorus platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

Table II. Estimates of mean eye-fork length back-calculated for *Istiophorus platypterus* from the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

Age	Linear model (cm)	Power model (cm)
1	88.5	65.1
2	124.8	102.8
3	148.3	125.4
4	167.3	142.4
5	176.0	151.8
6	187.8	161.3
7	194.4	164.8
8	199.0	168.7
9	206.5	172.8
10	212.4	173.8
11	223.9	187.5

between models. The Schnute growth model fitted to the data is shown in Figure 9 and the likelihood profiles of the θ parameters are in Figure 10. The values were $\iota = 65.1$ cm (CI = 63.2–67.2 cm, p -value < 0.05), $\delta = 180.5$ cm (CI = 178.5–182.6 cm, p -value < 0.05), $\lambda = 0.21$ (CI = 0.19–0.23, p -value < 0.05), $\rho = 2.14$ (CI = 1.97–2.32, p -value < 0.05). The negative log-likelihood was estimated as -29.93 . For the von Bertalanffy growth model the fitted data are shown in Figure 11. The joint confidence contour for L_∞ and k parameters are in Figure 12. The estimated values were $L_\infty = 180.6$ cm (CI = 176–186 cm, p -value < 0.05), $k = 0.36$ (CI = 0.34–0.39, p -value < 0.05), $t_0 = -0.24$ (CI = -0.30 to -0.18 , p -value < 0.05). The negative log-likelihood was estimated as -27.31 . The AIC = 60.62 showed the von Bertalanffy function to be the best candidate model, whereas Schnute growth model showed an AIC = 67.86.

Discussion

Our samples of sailfish included a wide range of eye-fork lengths (55–240 cm). The back-calculation was

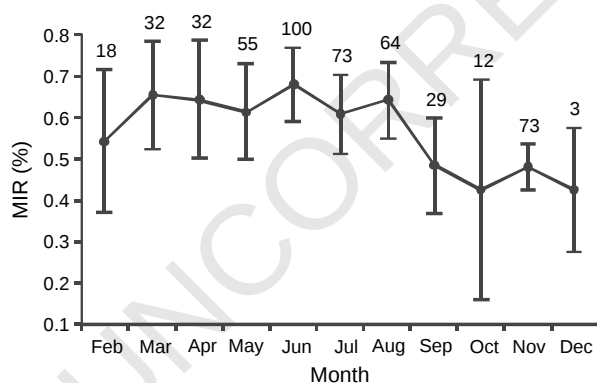


Figure 8. Monthly means of the marginal increment ratio (MIR) for the sailfish *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Vertical bars are $\pm 95\%$ confidence intervals, numbers above the vertical bars are sample sizes.

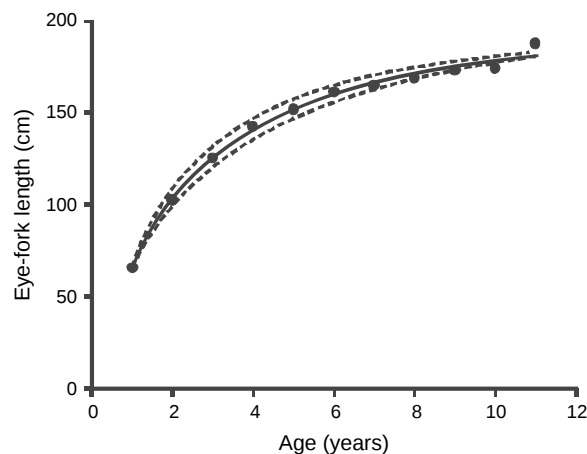


Figure 9. The Schnute growth model (solid line) fitted to eye-fork length (points) of *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. The upper and lower dashed lines are $\pm 95\%$ confidence intervals.

estimated using two models, defined as linear and power functions. We found that the power model was better than the linear model by using the r^2 criterion. This procedure allows us to correct the number of ages from the direct reading. With the ages corrected from 9 to 11 age groups, for both linear and power functions the mean length-at-age estimated were different. Ehrhardt (1992), analysing growth of *Xiphias gladius*, explained that the linear formulation proposed by Lee (1920) overestimates the back-calculated length at age in small individuals (ages 1 and 2), and simultaneously the linear model underestimates the back calculated length-at-ages 3–8 years (large individuals). Our estimates of the back calculated length at age showed an overestimation for all ages with the linear model. Tserpes & Tsimenides (1995) for *X. gladius* and Chiang et al. (2004) for *Istiophorus platypterus* also recommended the power model for the back-calculation. The back-calculation may avoid the problems associated with false rings and the presence of the vascularized core which can obscure the early growth rings in the larger fish.

The analysis of the marginal increment ratio showed two periods, the first from March to August, characterized by the higher MIR, and the second had a low increment from September to December. In the second period a new ring begins its formation; consequently the MIR analysis showed that one growth ring is formed annually for *I. platypterus*. Ehrhardt (1992) comments that if the rings seen on spine sections are valid indicators of age, then they should be formed over a short time, and at the same time every year. Chiang et al. (2004) showed for *I. platypterus* off Taiwan the minimum MIR values during September to November for males, and minimum MIR values during October–November

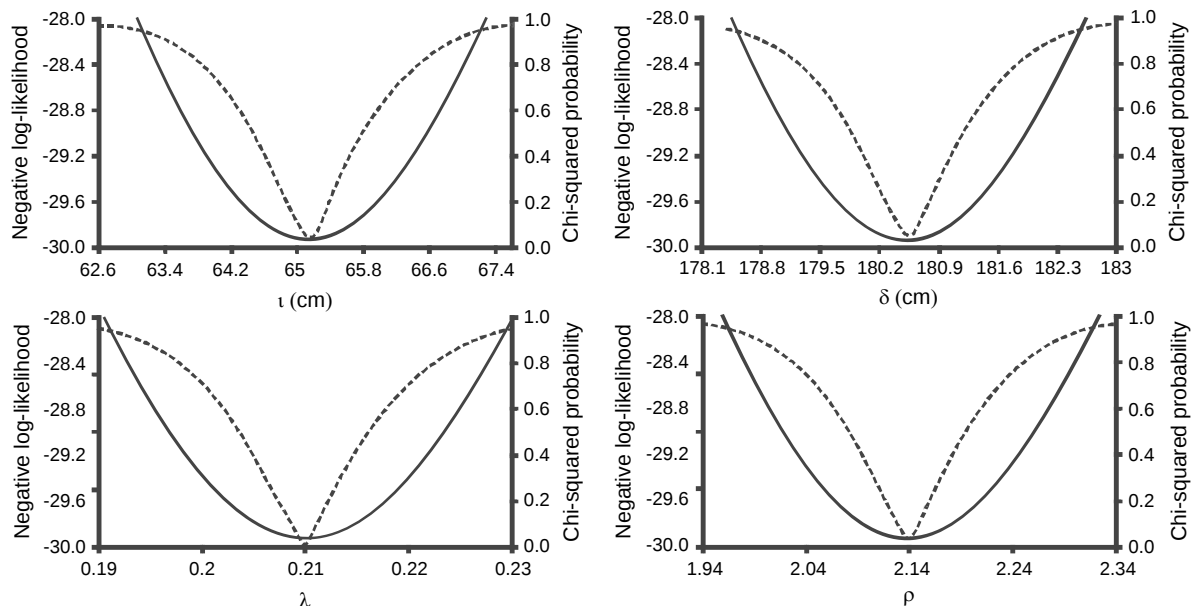


Figure 10. Likelihood profiles of parameters of t , δ , λ and ρ estimated for the Schnute growth model. The solid line represents the negative log-likelihood profile and the dashed line is the χ^2 probability.

for females. In the Gulf of California, Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996) found an annual pattern of growth for *I. platypterus*. They used a monthly analysis of the type of edge (opaque and hyaline) in the fourth dorsal fin spine. The annual growth was found during the summer months. Comparatively, we found a similar pattern of annuli formation for this species and confirmed the annual pattern in growth of *I. platypterus* in the Gulf of Tehuantepec.

We estimated 11 age-classes (1–11 years). Age-classes five and six were predominant in the samples. In the Mexican Pacific, Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1996) observed 7 and Macías-Zamora et al. (2001) observed 10 age-classes, with age-classes

three and four the most abundant. Chiang et al. (2004) found, in the waters off eastern Taiwan, 11 age-classes in males and 12 in females of *I. platypterus*. Freire et al. (1998) reported 10 age-classes for sailfish from off northeastern Brazil, whereas Prince et al. (1986) reported the estimated maximum age of Atlantic sailfish at 13–15 years based on a single mark-recapture fish.

We noted that *I. platypterus* showed a rapid growth, reaching 100 cm during the second age-class, which is more than 50% of the mean asymptotic eye-fork length. This pattern of growth has been documented in different areas (De Silva 1957; Jolley 1977; Hedgepeth & Jolley 1983; Chiang et al. 2004). Rapid growth may be an advantage adapted for predator avoidance. Our estimates of the mean asymptotic eye-fork length in the Gulf of Tehuantepec were $L_{\infty} = 190.6$ with the Schnute growth

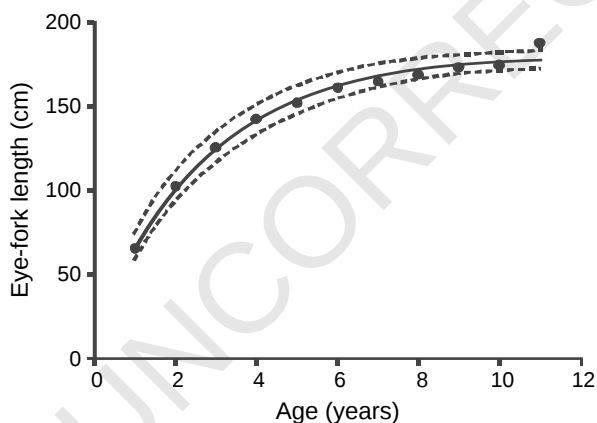


Figure 11. The von Bertalanffy growth model (solid line) fitted to eye-fork length (points) of *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. The upper and lower dashed lines are $\pm$ 95% confidence intervals.

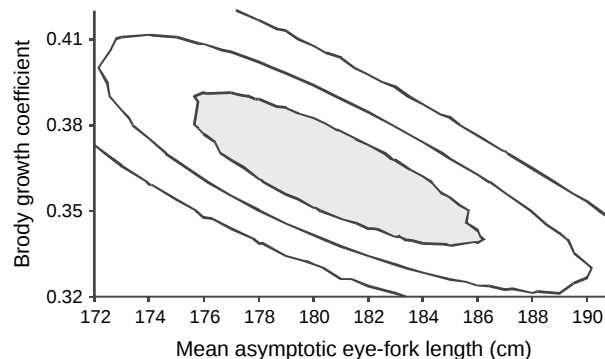


Figure 12. Negative log-likelihood contour for parameters L_{∞} and k , estimated from the von Bertalanffy growth model. The area in grey denotes joint confidence intervals (χ^2 test, $p < 0.05$).

model, and $L_{\infty}=180.6$ with the von Bertalanffy growth function. These values of the mean asymptotic eye-fork length were less than those estimated by Chiang et al. (2004) in the waters off Taiwan. They reported 257.3 cm for males and 289.9 for females using the lower-jaw fork length. The values for this variable from Arabian Gulf sailfish were 191 cm (females) and 160 cm (males) using the lower-jaw fork length (Hoolihan 2006). Freire et al. (2006) report a L_{∞} of 179.6 using the eye-keel length off northeastern Brazil.

In previous reports the uncertainties in the growth parameters of the *Istiophorus platypterus* were not estimated and the parameters themselves were estimated with an algorithm based on ordinary least squares (Hedgepeth & Jolley 1983; Alvarado-Castillo & Félix-Uraga 1998; Freire et al. 1998; Hoolihan 2006). Table III shows a comparison among growth models and parameters from different regions. Usually the main problem is that the data for age-classes are estimated using individuals caught by the sport fishery, where the targets are the older and larger individuals. The absence of the younger and smaller individuals does not yield the best fit of the growth model to the data. Consequently, alternative models must be solved to confront the models with data and adequately estimate the individual growth pattern (Richards 1959; Schnute 1981; Katsanevakis 2006). Chiang et al. (2004) estimated the growth of *I. platypterus* in waters off eastern Taiwan. They analysed the performance of the von Bertalanffy and Richards functions using a likelihood-ratio test. They found that the Richards model was better. The model fitted the observed data of the 0 age-class, and the theoretical growth curve showed that the general growth-model of Richards was more flexible when younger individuals were scarce in the biological samples.

In previous studies of individual growth, some general models have been used, such as the Chapman model (1961) applied to the swordfish *Xiphias gladius* (Ehrhardt 1992; Tserpes & Tseminides 1995), which is a general form model of the von Bertalanffy growth function (VB). The comparison between the Chapman and VB models did not show differences in the performance of the models based on the estimation of r^2 , which was reported by Tserpes & Tseminides (1995), and they recommended using the VB for growth for studies of *X. gladius*, because the Chapman model overestimated the asymptotic length. Ehrhardt (1992), analysing the individual growth of this species, recommended the Chapman model as the best in comparison with the VB. This conclusion was supported in over-estimations of expected values at younger and older

Table III. Estimates of individual growth parameters for in different geographical zones. The table shows the growth model for females (♀) and males (♂), parameters and confidence intervals (CI) if these were reported, and the algorithm for the parameter estimation defined as the sum of squares (SSQ), In likelihood (ln L), or not reported

Site	n	Model	L_{∞}	k	K	t_0	m	IC	Algorithm	Reference
Florida	310 ♀	Von Bertalanffy	183	0.15		-3.31		NR	SSQ	Hedgepeth & Jolley (1983)
Florida	259 ♂	Von Bertalanffy	147	0.30		-1.95		NR	SSQ	Hedgepeth & Jolley (1983)
Gulf of California	754	Von Bertalanffy	207.3	0.75		-0.0016		NR	SSQ	Alvarado-Castillo & Félix-Uraga (1998)
Brazil	126	Von Bertalanffy	179.6	0.14		-1.24		NR	SSQ	Freire et al. (1998)
Mexican Pacific	1216	Von Bertalanffy	177.16	2.97		-0.016		NR	SSQ	Macias-Zamora et al. (2001)
Taiwan	436 ♀	Richards	343.8		0.011	-0.46	-1.63	Standard error	SSQ	Chiang et al. (2004)
Taiwan	699 ♂	Richards	294		0.023	-0.70	-1.28	Standard error	SSQ	Chiang et al. (2004)
Arabian Gulf	35 ♀	Von Bertalanffy	191	0.29		-4.31		NR	SSQ	Hoolihan (2006)
Arabian Gulf	50 ♂	Von Bertalanffy	160	0.42		-4.92		NR	SSQ	Hoolihan (2006)
Gulf of Tehuantepec	477	Von Bertalanffy	180.6	0.36		-0.24		Likelihood	-ln L	This study
Gulf of Tehuantepec	477	Schnute	190.6	0.21		0.49		Likelihood	-ln L	This study

ages, and underestimation for expected lengths at intermediate ages. Another general model applied to the sailfish *Istiophorus platypterus* is the Richards growth function (Richards 1959). This model was used by Chiang et al. (2004). They compared the Richards and VB models and concluded that the general model showed the best fit to the data of *I. platypterus* off Taiwan. The criterion for the selection model was the likelihood-ratio test. The advantages of the Richards model is that it contains the common form of the VB, with the VB allometric, VB isometric, including logistic, and Gompertz models as special cases.

In our study, the Schnute model showed near values of the negative log-likelihood in comparison with the VB model. Our results also showed that the VB function was the best candidate model. Given this result, we assumed that the age data are sufficiently informative to describe the growth pattern of *Istiophorus platypterus* according to the VB function. For the Schnute growth model (Schnute 1981) the general procedure is to begin by locating an optimum four-parameter model. Then one can inspect the parameter estimates for λ and ρ in the context of the general model. It may happen that the estimated curve lies close to a three-parameter (or even two-parameter) submodel. In this case, one might estimate the parameters for the submodel and compare them. The VB model is a special case of the Schnute model if the parameter $\rho = 1$; however, our estimation of this parameter showed that it is different from 1.

We compared the Schnute and VB models rather than any others because the Schnute model shows a differential equation forming eight different curve patterns depending on the parameter values. The advantage of the Schnute model is that the Richards growth curve is a special case within the alternative solutions. The Schnute model is a general four-parameter growth model that contains most of the preceding growth models as special cases. Rather than modelling the instantaneous rate of change, Schnute concentrates on the relative rate of change. Additionally, Schnute showed a parameterization approach that is statistically stable. The convergence of the nonlinear least squares can be successful when other parameterizations failed to converge. As two of the four parameters in Schnute's model are expected value parameters (t , δ), one would expect a greater stability than for either the VB allometric or Richards parameterizations (Quinn & Deriso 1999).

The confrontation among candidate models, data, and the criteria of selection for the best model is the main source of uncertainty. In the study of fish growth some criteria as r^2 (Tserpes &

Tseminides 1995), the likelihood-ratio test for nested models (Hilborn & Mangel 1997; Chiang et al. 2004), and Akaike's information criterion (AIC) (Akaike 1973) have been used. The model selection based on information theory has been recommended as a better and more robust alternative than traditional approaches to hypothesis testing or inference from the r^2 values (Burnham & Anderson 2002; Katsanevakis 2006; Katsanevakis & Maravelias 2008). Additionally, the best fit of the models to the data depend on the objective function. It can be residual sum squares, likelihood, or log-likelihood. Katsanevakis (2006) and Katsanevakis & Maravelias (2008) used a multi-model inference to model selection for the study of fish growth. The criterion was the AIC where the objective function was the residual sum squares. The advantage of this approach is that the models are hierarchically ordered considering the fit to the data, and the parameters of the candidate models may be averaged. For this procedure it is necessary to estimate the weighted average from the estimation of the Akaike weights (Burnham & Anderson 2002). In our study we compared only two candidate models (VB and Schnute). The comparison with a multimodel inference was not used in this study, but the model selection was based on the AIC criterion. Thus the model selection was based on the principle of parsimony according to Akaike's information criterion, with the best candidate model the VB.

Conclusions

We assumed that the frequency of young and old individuals in the biological samples was sufficient to avoid a failure in the iterative procedure, where the consequences are either overestimation or underestimation in the growth parameters. The Schnute model is a general growth model similar to Richard's model and its parameters are statistically stable and have a biological interpretation (Schnute 1981). However, in our study the von Bertalanffy growth function was the best candidate. We analysed a broad size-range for *Istiophorus platypterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico and compared two candidate growth models. Their performances were measured with Akaike's information criterion and we found that the growth curve for this species is based on the three-parameter model rather than generalized Schnute model. Consequently, we believe that the von Bertalanffy growth function adequately describes the individual growth for this species in the region.

Acknowledgements

Thanks to the sponsors and organizing committee of the sport fishing tournaments from Puerto Escondido, Huatulco, Puerto Ángel, and Salina Cruz in Oaxaca, Mexico. The authors are indebted to Gabriela González-Medina, Carmen Alejo-Plata and Samuel Ramos-Carrillo. Thanks to Laboratorio de Dinámica de Poblaciones, CICIMAR, to Roberto Felix-Uraga and Felipe Neri Melo-Barrera. Thanks to several students of the Ichthyology and Fishery Biology Laboratory of the Universidad del Mar who took part in the data collection and field work. The first author is a PIFI-CONACyT fellow. Thanks to Dr Ellis Glazier for editing this English-language text.

References

- Aguirre H, Amezcua F, Madrid-Vera J, Soto C. 2008. Length-weight relationship for 21 species from coastal lagoon in the southwestern Gulf of California. *Journal of Applied Ichthyology* 24:91–92.
- Akaike H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petran BN, Csaaki F, editors. *International Symposium on Information Theory*. Budapest, Hungary: Akademiai Kiado, p 267–81.
- Alvarado-Castillo R, Félix-Uraga R. 1996. Age determination in *Istiophorus platypterus* (Pisces: Istiophoridae) in the south of the Gulf of California, México. *Revista de Biología Tropical* 44:233–39.
- Alvarado-Castillo R, Félix-Uraga R. 1998. Growth of *Istiophorus platypterus* (Pisces: Istiophoridae) from the mouth of the Gulf of California. *Revista de Biología Tropical* 46:115–18.
- Alvarez-Torres P, Díaz-de-León-Corral A, Ramírez-Flores O, Bermúdez-Rodríguez E. 2002. National fisheries chart 2000: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12:317–26.
- Bagenal TB, Tesch FW. 1978. Age and growth. In: Bagenal TB, editor. *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. Oxford: Blackwell. p 101–36.
- Burnham KP, Anderson DR. 2002. *Model Selection and Multi-model Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. New York, NY: Springer. 488 pages.
- Chang WYB. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39:1208–10.
- Chapman DG. 1961. *Statistical problems in dynamics of exploited fisheries populations*. University of California Publications in Statistics 4:153–68.
- Chiang WC, Sun CL, Yeh SZ. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fishery Bulletin* 102:251–63.
- De Sylva DP. 1957. Studies on the age and growth of the Atlantic sail-fish, *Istiophorus americanus* (Cuvier), using length-frequency curves. *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean* 7:1–20.
- DOF. 2000. Acuerdo por el que se aprueba la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*, p. 5. Jueves 17 de agosto del 2000. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.inp.sagarpa.gob.mx>
- Drew K, Die DJ, Arocha F. 2006. Understanding vascularization in fin spines of white marlin (*Tetrapturus albidus*). *Bulletin of Marine Science* 79:847–52.
- Ehrhardt NM. 1992. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic. *Bulletin of Marine Science* 50:292–301.
- Esmaili HR, Ebrahimi M. 2006. Length-weight relationships of some freshwater fishes of Iran. *Journal of Applied Ichthyology* 22:328–29.
- Fraser CMcL. 1916. Growth of the spring salmon. *Transaction of Pacific Fisheries Society* 915:29–39.
- Freire KMF, Ferreira AV, Lessa RP, Lins-Oliveira JE. 1998. First studies on age and growth of sailfish (*Istiophorus albicans*) caught off northeastern Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*. São Paulo 25:7–12.
- Haddon M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC. 406 pages.
- Hedghepeth MY, Jolley JW Jr. 1983. Age and growth of sailfish, *Istiophorus platypterus*, using cross section from the fourth dorsal spine. *NOAA Technical Report NMFS* 8:131–35.
- Hernández A, Ramírez M. 1998. Spawning seasonality and length at maturity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) off the Pacific Coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 63:459–67.
- Hilborn R, Mangel M. 1997. *The Ecological Detective. Confronting Models with Data*. Monographs in Population Biology. Princeton, NJ: Princeton Academic Press. 315 pages.
- Hill KT, Cailliet GM, Radtke RL. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. *Fishery Bulletin* 87:829–43.
- Hoolihan JP. 2006. Age and growth of Indo-Pacific sailfish *Istiophorus platypterus*, from the Arabian Gulf. *Fisheries Research* 78:218–26.
- Jolley JW Jr. 1977. The biology and fishery of Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, from southeast Florida. *Florida Marine Research Publications* 28:1–31.
- Katsanevakis S, Maravelias CD. 2008. Modelling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9:178–87.
- Katsanevakis S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81:229–35.
- Lee RM. 1920. A review of the methods of age and growth determination in fishes by means of scales. *Fishery Investigation, London Series* 24(2):32 pp.
- Macías-Zamora R, Vidaurri-Sotelo AL, Santana-Hernández H, Valdez-Flores JJ, Beltrán-Pimienta R. 2001. *Pez vela*. In: SAGARPA, editors. *Sustentabilidad y pesca responsable en México Evaluación y Manejo*. México, p 389–410.
- Nakamura I. 1985. *FAO Species Catalogue. Vol. 5. Billfishes of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Marlins, Sailfishes, Spearfishes and Swordfishes known to date*. Rome: FAO Fish Synopsis 5: 65 pages.
- Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, Wasserman W. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. New York, NY: McGraw-Hill. 1408 pages.
- Pawitan Y. 2001. *All Likelihood: Statistical Modeling and Inference using Likelihood*. Oxford: Oxford University Press. 528 pages.
- Prince ED, Lee DW, Wilson CA, Dean JM. 1986. Longevity and age validation of a tag-recaptured Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus* using dorsal spine and otoliths. *Fishery Bulletin* 84:493–502.
- Quinn TJ, Deriso RB. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford: Oxford University Press. 542 pages.
- Richards FJ. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10:290–300.
- Ricker WE. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin* 191.

12 G. Cerdenares-Ladrón de Guevara et al.

- Santamaria N, Bello G, Corriero A, Deflorio M, Vassallo-Agius R, Bök T, et al. 2009. Age and growth of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Osteichthyes: Thunnidae), in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 25:38–45.
- Schnute J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38:1128–40.
- Speare P. 2003. Age and growth of black marlin, *Makaira indica*, in east coast Australian waters. *Marine and Freshwater Research* 54:307–14.
- Tserpes G, Tsimenides N. 1995. Determination of age and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., 1758, in the eastern Mediterranean using anal-fin spines. *Fishery Bulletin* 93:594–602.
- Uosaki K, Bayliff WH. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988–1992. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 21:275–309.
- Venzon DJ, Moolgavkar SH. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Applied Statistics* 37:87–94.
- von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws 11). *Human Biology* 10:181–213.
- Welch DW, McFarlane GA. 1990. Quantifying growth of female Pacific hake (*Merluccius productus*): an example of measuring uncertainty and bias in non-linear parameter estimation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 47:672–81.
- Zar JH. 1999. *Biostatistical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 633 pages.

Editorial responsibility: Aril Slotte