

Variation in relative abundance and mean size of the sailfish *Istiophorus platypterus* caught by the artisanal fleet in the Gulf of Tehuantepec, Mexico

Variabilidad de la abundancia relativa y talla promedio del pez vela *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec, México

G Cerdaneres-Ladrón de Guevara¹, E Morales-Bojórquez^{2*}, S Ramos-Carrillo¹, G González-Medina¹

¹ Universidad del Mar, Cd. Universitaria s/n, Puerto Ángel, Municipio de San Pedro Pochutla, CP 70902, Oaxaca, México.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC, Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, CP 23090, La Paz, Baja California Sur, México.

* Corresponding author. E-mail: emorales@cibnor.mx

ABSTRACT. The sailfish *Istiophorus platypterus* is abundant in tropical coastal areas of the Pacific Ocean. It is targeted by both sport-fishing and commercial (artisanal) fleets in Mexico, Guatemala, Costa Rica, and Panama. The Gulf of Tehuantepec is one of the main areas of abundance of *I. platypterus*, where it is caught incidentally by artisanal vessels. The objective of this study was to analyze the size structure and the variability in the catch-per-unit-effort (CPUE) of sailfish caught in the Gulf of Tehuantepec from 2000 to 2008. The size structure was analyzed using eye-fork length (EFL) and CPUE was estimated as the number of individuals per fishing trip. Individuals ranged in size from 55 to 240 cm EFL and varied in total weight from 1.6 to 69.7 kg. The size structure was unimodal, and the variability over time showed a negative tendency ($F_{(0.05(1),8,4967)} = 6.8E + 8$; $P < 0.05$). The CPUE of *I. platypterus* showed seasonal changes: values were lower from January to April and higher during the summer, and then decreased again in early winter.

Key words: artisanal fishing, Gulf of Tehuantepec, size structure, CPUE, *Istiophorus platypterus*.

RESUMEN. El pez vela *Istiophorus platypterus* es abundante en zonas costeras tropicales del océano Pacífico. Además de ser atractiva para la pesca deportiva, también sostiene pesquerías artesanales en México, Guatemala, Costa Rica y Panamá. El golfo de Tehuantepec se reconoce como una de las áreas de mayor abundancia de *I. 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 estructura de tallas y la tendencia de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del pez vela capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec durante 2000 hasta 2008. Se estimó la estructura de tallas con base en el registro de la longitud ojo-furca (LOF) y la CPUE con base en el número de organismos capturados por viaje de pesca. Los individuos presentaron un intervalo de tallas de 55 a 240 cm de LOF y un peso total de 1.6 a 69.7 kg. La estructura de tallas fue unimodal, con una variación anual en la talla promedio de 2000 a 2008, y mostró una tendencia a disminuir en la serie de tiempo ($F_{(0.05(1),8,4967)} = 6.8E + 8$; $P < 0.05$). La CPUE de *I. platypterus* presentó cambios estacionales: los valores más bajos se observaron durante el periodo de enero a abril, luego incrementaron durante el verano y volvieron a decaer hacia diciembre.

Palabras clave: pesca artesanal, golfo de Tehuantepec, estructura de tallas, CPUE, *Istiophorus platypterus*.

INTRODUCTION

The sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw and Nodder 1792) is an abundant and commercially important species in tropical coastal areas of the Pacific and Indian Oceans (Hoolihan 2003, Chiang *et al.* 2009). In the Tropical Eastern Pacific, it is targeted by commercial Japanese, Korean, and Taiwanese longline fleets (Sosa-Nishizaki 1998), and by sport-fishing fleets operating out of important coastal cities or tourist destinations along the western coast of tropical America. This species is also exploited by artisanal fisheries in Mexico, Guatemala, Costa Rica, and Panama (Prince *et al.* 2006). Nonetheless, despite its wide geographic distribution and great mobility, it has not been easy to obtain information

INTRODUCCIÓN

La especie *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder 1792) es un pez vela abundante y económicamente importante en las zonas costeras ecuatoriales de los océanos Pacífico e Índico (Hoolihan 2003, Chiang *et al.* 2009). En el océano Pacífico Oriental Tropical sobresalió su explotación por parte de las flotas palangreras comerciales de Japón, Corea y Taiwán (Sosa-Nishizaki 1998), y en el margen occidental de América tropical se concentra su explotación por parte de las flotas deportivas que salen de las grandes ciudades costeras o los destinos turísticos. Esta especie también sostiene pesquerías artesanales de México, Guatemala, Costa Rica y Panamá (Prince *et al.* 2006). A pesar de su amplia distribución

about its movements, distribution patterns, and life history (Prince and Brown 1991, Uozumi 2003).

In the Atlantic, billfish assessments have been made using surplus production models, based on standardization of catch per unit of effort (CPUE) and commercial catch data. The findings revealed that all billfish species in the Atlantic have been overfished (Uozumi 2003, Die 2006). Some authors consider that there are two species of sailfish, the Atlantic sailfish (*Istiophorus albicans*) and the Indo-Pacific sailfish (*I. platypterus*), but genetic data are consistent with the existence of a single species with pantropical distribution (Graves 1998, Collette *et al.* 2006). Taking this into account, we will henceforth use the name of the species as it appears in each publication cited. A recent assessment of the Atlantic sailfish (*I. albicans*) found that the artisanal fleets operating off the coast of Africa (eastern stock) and along the Atlantic coast of North and South America (western stock) obtain the highest catches of this species in the Atlantic (ICCAT 2010). The only information available concerning the assessment of the resource in the Tropical Eastern Pacific are statistics on nominal fishing effort and longline fishery catches (Macías-Zamora *et al.* 2001). The trends in relative abundance indices derived from nominal CPUE data and the way in which this index of abundance relates to the prevailing oceanographic conditions have also been described (Santana-Hernández 2001).

In the Gulf of Tehuantepec, Mexico (fig. 1), the little sport-fishing activity is limited to a few annual tournaments, so not enough information can be obtained from this activity to be able to evaluate the status of *I. platypterus*; however, this species is caught by artisanal vessels and knowledge of the status of the resource in the area has improved by monitoring artisanal landings. The present study examines, for the first time, the variability in CPUE and the size structure of sailfish targeted by the artisanal fleet operating in the Gulf of Tehuantepec.

MATERIAL AND METHODS

Field data

The information analyzed to obtain the index of relative abundance derived exclusively from the landings of artisanal vessels operating out of Puerto Ángel, Oaxaca (fig. 1). In 2000, the Universidad del Mar initiated a program to monitor small-scale fishing activity in Puerto Ángel. Initially, only information on the size structure of the catches was collected, but from June 2005 to December 2008 the catches and effort of the Puerto Ángel artisanal fleet were also recorded. In number of organisms, the pelagic artisanal catches are mainly composed of *Euthynnus lineatus* (69%); *Sarda orientalis*, *Tunnus albacares*, and *Corhyphaena hippurus* (8% each); *I. platypterus* (4%); and *Carcharhynchus falciformis* (3%). In biomass, *I. platypterus* occupies second place, comprising almost 20% of the catches. The pelagic artisanal fleet based in Puerto Ángel consists of 228 small fiberglass boats, 7.61 to

geográfica y su gran movilidad, se ha dificultado la obtención de información sobre sus movimientos, sus patrones de distribución y su historia de vida (Prince y Brown 1991, Uozumi 2003).

En el Atlántico, las evaluaciones de peces de pico de diversas especies se han realizado utilizando modelos de producción excedente, con base en la estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y las capturas comerciales. De esta forma se encontró que todas las especies de peces de pico en el Atlántico han sido sobreexplotadas (Uozumi 2003, Die 2006). Algunos autores consideran que el pez vela está constituido por dos especies, el pez vela del Atlántico (*Istiophorus albicans*) y el pez vela del Indo-Pacífico (*I. platypterus*), pero datos genéticos son consistentes con la existencia de una sola especie con distribución pantropical (Graves 1998, Collette *et al.* 2006). Tomando en cuenta esto, se continuará citando a la especie como originalmente se mencionó en cada trabajo referido. Recientemente en la evaluación del pez vela del Atlántico (*I. albicans*), se documentó que las flotas artesanales de la costa de África (población del este) y las de la costa Atlántica de América (población del oeste) obtienen las mayores capturas de esta especie en el Atlántico (ICCAT 2010). La única información disponible relacionada con la evaluación del recurso en el Pacífico Oriental Tropical son estadísticas referentes al esfuerzo de pesca nominal y capturas de la flota palangrera de altura (Macías-Zamora *et al.* 2001). De esta manera se ha descrito la tendencia de índices de abundancia relativa de la CPUE nominal y la forma en que este índice de abundancia se relaciona con las condiciones oceanográficas prevalecientes (Santana-Hernández 2001).

En el golfo de Tehuantepec, México (fig. 1), 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 de *I. platypterus*. Sin embargo, existe una captura artesanal que ha permitido dar un seguimiento del recurso en esta región, permitiendo actualizar el conocimiento sobre el estado del mismo en la zona. En el presente estudio, por primera vez, se presenta una descripción de la tendencia de la CPUE así como de la estructura de tallas del pez vela capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información de campo

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 (fig. 1). Desde 2000, la Universidad del Mar inició un programa de seguimiento de la actividad pesquera a pequeña escala de Puerto Ángel. En un principio, sólo se recolectó

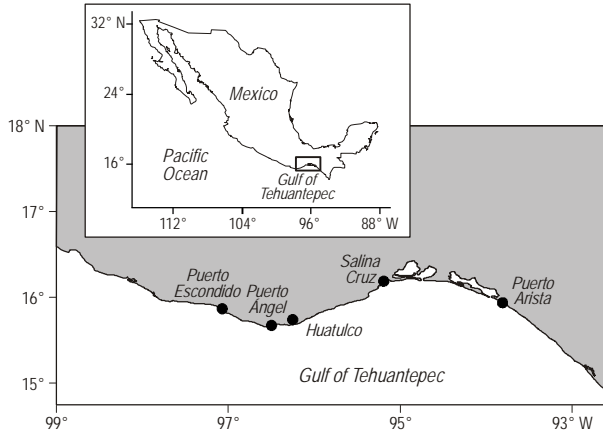


Figure 1. Study area of the sailfish *Istiophorus platyterus* in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.

Figura 1. Área de estudio del pez vela *Istiophorus platyterus* en el golfo de Tehuantepec, México.

10.33 m (25 to 33 ft) in length, with a load capacity of 1200 to 3000 kg and 40- to 70-HP outboard motors (rarely more powerful). Fishing operations are conducted using artisanal gear without mechanical assistance, except for the outboard motors used for propulsion. Each boat carries two to four fishermen. Daily fishing operations initiate between 06:00 and 07:00 and last 3 to 4 h.

The following active fishing gear is used: fishing tackle to capture black skipjack (*E. lineatus*) and yellowfin tuna (*T. albacares*), and buoys (modified longline) to capture yellowfin tuna, sailfish (*I. platyterus*), and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). The passive gear includes longlines (known locally as *cimbras*) and gillnets, used for targeting sharks (*Carcharynus falciformis*). The field work was carried out two days a week, and on those days the total number of fishing trips made by the pelagic fleet was registered.

Index of relative abundance

To estimate CPUE, one fishing trip was considered unit of effort. The time spent reaching the fishing area off the coast of Oaxaca is relatively short, since the trips are made daily and are of short duration. According to Arocha *et al.* (2009), it can be assumed that such fishing practices are sufficiently homogeneous, so the fishing trip can be considered the unit of effort. Hence, CPUE was defined as follows:

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

where CPUE is the number of organisms captured per fishing trip, *c* is the number of organisms, *f* is the number of trips, and η is the number of fishing operations during the sampling days.

información de la estructura de tallas de la captura, pero de junio de 2005 a diciembre de 2008 se registraron las capturas y el esfuerzo de la flota artesanal de Puerto Ángel. En número de organismos, las capturas pelágicas de la pesca ribereña las compusieron principalmente *Euthynnus lineatus* (69%); *Sarda orientalis*, *Tunnus albacares* y *Corhyphaena hippurus* (8% cada uno); *I. platyterus* (4%); y *Carcharynus falciformis* (3%). En biomasa *I. platyterus* tiene el segundo lugar, con casi el 20% de las capturas. La pesca artesanal de pelágicos mayores en Puerto Ángel está conformada por 228 embarcaciones menores de fibra de vidrio de 7.61 a 10.33 m (25 a 33 pies) de eslora, con una capacidad de carga de entre 1200 y 3000 kg y con motores fuera de borda de entre 40 y 75 HP (rara vez de mayor potencia). Las operaciones de pesca se realizan con equipos armados de manera artesanal y sin ayudas mecánicas, excepto los motores fuera de borda empleados para la propulsión. En estas embarcaciones participan de dos a cuatro pescadores. Las operaciones de pesca son diarias, inician entre 6:00 y 7:00, y tienen una duración de 3 a 4 h.

Los equipos de pesca activos que se utilizan son los curricanes (rápalas), para la captura de barrilete negro (*E. lineatus*) y atún aleta amarilla (*T. albacares*), y las boyas (palangre modificado), para la captura de atún aleta amarilla, pez vela (*I. platyterus*) y dorado (*Coryphaena hippurus*). Los equipos pasivos son los palangres (llamados localmente “cimbras”) y las redes de enmalle, que son utilizados para la pesca de tiburón (*Carcharynus falciformis*). El trabajo en campo se realizó durante dos días a la semana, y en esos días se registró el total de viajes de pesca de pelágicos mayores.

Índice de abundancia relativa

Para estimar la CPUE, se consideró como unidad de esfuerzo un viaje de pesca. En la pesca artesanal de la costa de Oaxaca, el tiempo para dirigirse al área de pesca es relativamente corto, ya que los viajes son diarios y de poca duración. Según Arocha *et al.* (2009), se supone que las prácticas de pesca de este tipo son suficientemente homogéneas, lo que permite considerar al viaje de pesca como unidad de esfuerzo. Es así que la CPUE fue definida como sigue:

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

donde CPUE es el número de organismos capturados por viaje de pesca, *c* es el número de organismos, *f* es el número de viajes y η es el número de operaciones de pesca durante los días de muestreo.

Para describir la CPUE, se consideró que ésta presenta una distribución Δ (i.e., contiene una proporción de valores

To describe CPUE, a Δ distribution (i.e., containing a proportion of zero and non-zero values with log-normal distribution; Pennington 1996) was considered, thus assuming that CPUE is not normally distributed. To calculate the mean CPUE value based on this statistical distribution, the general model proposed by Pennington (1996) was used, which includes the solution to models with Δ distribution (distributions skewed by the presence of zeros) and log-normal distribution (distributions skewed by the presence of low non-zero values). Given the properties of log-normal distribution, the minimum variance unbiased estimators of the mean (ω) and the variance (ς) of the Δ distribution are given by (Pennington 1996):

cero y diferentes de cero con una distribución log normal; Pennington 1996), por lo que no se supone que la CPUE esté normalmente distribuida. Para lograr una estimación del valor promedio de la CPUE bajo esta distribución estadística, se usó el modelo general de Pennington (1996), el cual incluye en su aplicación la solución a modelos con distribución Δ (distribuciones desviadas por la presencia de ceros) y distribución log normal (distribuciones desviadas por la presencia de valores bajos distintos de cero). 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):

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

and

y

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

where n is the number of observations, m is the number of non-zero values, y is $\ln(x)$, \bar{y} and s^2 are the mean and variance of the sample of non-zero data, x_ω represents a single untransformed value when m is equal to one, and $g_m(t)$ is a function of m and t , defined by:

donde n es el número de observaciones, m es el número de valores diferentes de cero, y es $\ln(x)$, \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 , definida por:

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

where t is a variable that takes the values $t_1 = (s^2/2)$, $t_2 = (2s^2)$, and $t_3 = ((m-2/m-1)s^2)$. The minimum variance unbiased estimator of the variance of ω is given by (Pennington 1996):

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

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

Size structure

Eye-fork lengths (EFL) of the specimens of *I. platyperus* captured by the artisanal fleet operating in the Gulf of Tehuantepec were represented in length-frequency histograms with 5-cm class intervals. The modes observed were described and statistically analyzed using the multinomial probability density function (Haddon 2001):

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

where x_i is the number of times that a type i event occurred in n number of samples and p_i are the separate probabilities or proportions of each one of the possible k events. To avoid estimation problems and given that the factorial term is constant, it can be omitted on transforming equation (6) into a likelihood expression (Haddon 2001):

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

To generate the expected relative proportion of each length class (p_i), we assumed that each mean length or mode could be analyzed as a normal distribution; hence, each length class (p_i) was described using the following density function:

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

In this equation, the parameters μ_{EFL} , σ_n , and λ_{EFL} (parameters to be estimated) correspond to the means and standard deviations of the EFL of the n means present in the length distribution of each year analyzed, while λ is a value penalizing the multinomial distribution function that forces the objective function to predict the number of observations of the observed frequency distribution. The initial μ_{EFL} , σ_n , and λ_{EFL} values of the density function (8) were assigned based on two criteria: (1) visual inspection of the EFL frequency distribution and (2) comparison with the mode structure of previous years (Montgomery *et al.* 2010). The parameters of the model were estimated when the negative log-likelihood function was minimized with the Newton direct search algorithm (Neter *et al.* 1996). The objective function to be minimized was expressed as follows (Haddon 2001, Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006):

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

Estructura de tallas

Las longitudes ojo-furca (LOF) de los organismos de *I. platyperus* capturados por la pesca artesanal del golfo de Tehuantepec se representaron en histogramas de frecuencias de longitud con intervalos de 5 cm. La descripción y el análisis estadístico de las modas observadas se realizó a partir de la función de densidad multinomial (Haddon 2001):

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

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 cálculo y dado que el término factorial es constante, éste puede ser omitido al transformar la ecuación (6) en una expresión de verosimilitud (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 supuso que cada longitud promedio o moda puede ser analizada como una distribución normal; por lo tanto, cada categoría de longitud (p_i) se describió a partir de la siguiente función de densidad:

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

En esta expresión los parámetros μ_{LOF} , σ_n y λ_{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, mientras que λ es un valor de penalización a la función de distribución multinomial que obliga a la función objetivo a predecir el número de observaciones de la distribución de frecuencias observada. Los valores iniciales μ_{LOF} , σ_n y λ_{LOF} de la función de densidad (8) se asignaron bajo dos criterios: (1) inspección visual de la distribución de frecuencias de LOF y (2) comparación con la estructura de modas de años previos (Montgomery *et al.* 2010). Posteriormente, 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 fue expresada como sigue (Haddon 2001, Aguirre-Villaseñor *et al.* 2006):

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

The variation in the mean size of EFL throughout the study period (2000–2008) was determined by one-way analysis of variance ($P < 0.05$) to compare the means, and when significant differences were found, Tukey's multiple comparison test ($P < 0.05$) was applied (Zar 1999).

RESULTS

Index of relative abundance

From 2005 to 2008, monthly catch data (number of individuals and number of fishing trips) were gathered to estimate the CPUE of the artisanal fleet operating out of Puerto Ángel, Oaxaca. The time series of the estimated index of relative abundance of *I. platypterus* is shown in figure 2. The highest mean CPUE was recorded in July 2007 (2.7 ind trip⁻¹) and the lowest in December 2008 (0.01 ind trip⁻¹). The relative abundance showed a seasonal trend: values were lower during the first months of the year and higher during the summer, and then decreased again in early winter (December).

Size structure

The EFL frequency distribution of *I. platypterus* captured by the artisanal fleet in the Gulf of Tehuantepec during the period 2000–2008 was based on 4976 measurements of EFL ranging from 55 to 240 cm (mean = 159.9 cm, standard deviation (s) = 13.6 cm). The weight frequency distribution was based on 4985 individuals ranging from 1.6 to 69.6 kg (mean = 27.9 kg, s = 6 kg).

The EFL distribution by year showed a unimodal structure throughout the study period (fig. 3). In 2000, however, two modes were identified, the first at a mean size (μ_{EFL}) of 172.2 cm EFL (σ_{EFL} = 7.9 cm) and the second at 189.9 cm EFL (σ_{EFL} = 5.4 cm). Two modes were also identified in

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 ($P < 0.05$) para la comparación de medias, y en el caso de encontrar diferencias significativas, se llevó a cabo la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($P < 0.05$) (Zar 1999).

RESULTADOS

Índice de abundancia relativa

Durante 2005 hasta 2008 se recopiló información mensual de captura (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 *I. platypterus* se muestra en la figura 2. La CPUE promedio más alta se registró en julio de 2007 (2.7 ind viaje⁻¹) y la más baja en diciembre de 2008 (0.01 ind viaje⁻¹). Se observó una tendencia estacional de la abundancia relativa de *I. platypterus*: los valores más bajos se observaron durante los primeros meses del año, luego fueron incrementando hacia los meses de verano y volvieron a decaer hacia el principio del invierno (diciembre).

Estructura de tallas

La distribución de frecuencias de la LOF de *I. platypterus* capturado por la flota artesanal del golfo de Tehuantepec durante el periodo de 2000 a 2008 estuvo basada en 4976 mediciones de LOF dentro del intervalo de 55 a 240 cm (promedio = 159.9 cm, desviación estándar (s) = 13.6 cm). La distribución de frecuencias de pesos se basó en 4985 individuos que pesaron entre 1.6 y 69.6 kg (promedio = 27.9 kg, s = 6 kg).

La distribución de la LOF por año mostró una estructura unimodal a lo largo del periodo de estudio (fig. 3). Sin

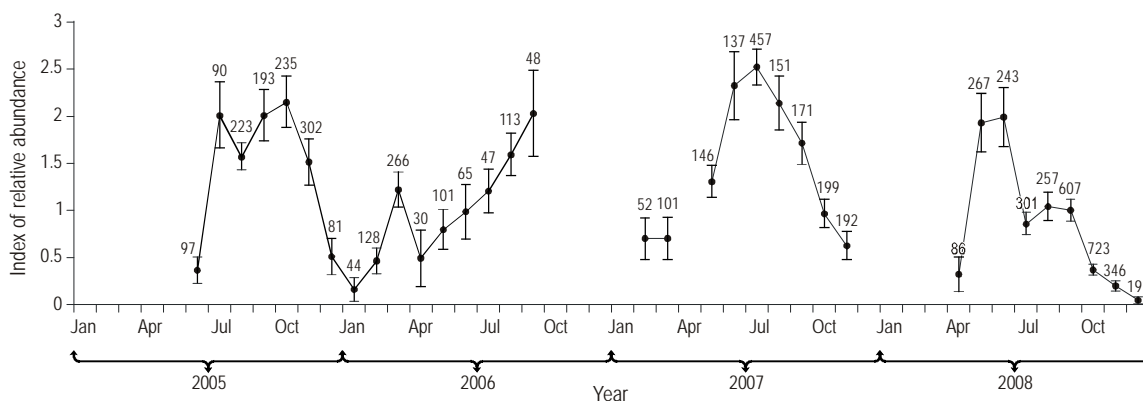


Figure 2. CPUE time series for *Istiophorus platypterus* caught by the artisanal fishery in the Gulf of Tehuantepec from 2005 to 2008. Mean (●), standard error (horizontal bars), and sample size (n , above every bar) are indicated.

Figura 2. Serie de tiempo de la CPUE de *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec durante el periodo de 2005 a 2008. Se indica promedio (●), error estándar (barras horizontales) y tamaño de muestra (n , arriba de cada barra).

2005, one at 155.3 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 0.6$ cm) and the other at 161.9 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 12.2$ cm). When mean EFL values were ordered relative to time, a decrease was observed; the trend was negative with two periods of stability (fig. 4) and there were statistically significant differences ($F_{(0.05(1),8,4967)} = 6.8E + 8$, $P < 0.05$). The modes observed in 2000 were the highest of the sampling period and differed in relation to the rest of the period ($q_{(0.05,4967,8)} > 19.3$, $P < 0.05$). The first homogeneous period comprised the years 2001 to 2004. In 2001, the mean size decreased to 167.8 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 9.5$ cm). In 2002 and 2003, the estimated mean sizes were 169.4 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 11.3$ cm) and 169.9 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 12.4$ cm). In 2004, the mean size decreased again, to 165.1 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 9.9$ cm). During this period, however, no statistically significant differences ($F_{(0.05(1),3,671)} = 0.33$, $P < 0.05$) were found. Finally, the last four years had the smallest mean sizes. The estimated mean sizes were 161.9 LOF ($\sigma_{LOF} = 12.1$) for 2005, 161.7 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 11.6$ cm) for 2006, 160.2 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 12.4$ cm) for 2007, and 160.3 cm EFL ($\sigma_{EFL} = 10.1$ cm) for 2008. Significant differences were not found during this second period ($F_{(0.05(1),3,4184)} = 0.33$, $P < 0.05$).

DISCUSSION

Index of relative abundance

From 2005 to 2008, the trends in CPUE showed marked seasonality, especially during the summer months (July to

embargo, durante 2000 se identificaron dos modas; se estimó una talla promedio (μ_{LOF}) de 172.2 cm de 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. En 2005, también se registraron dos modas, una en las tallas de 155.3 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 0.6$ cm) y otra en 161.9 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 12.2$ cm). Al ordenar las tallas promedio con respecto al tiempo, se observó una disminución; la tendencia fue negativa con dos periodos de estabilidad (fig. 4) y se determinaron diferencias estadísticas significativas de la LOF ($F_{(0.05(1),8,4967)} = 6.8E + 8$, $P < 0.05$). Durante 2000, las dos modas estimadas fueron las más altas del periodo de estudio y presentaron una diferencia 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 2001, la talla promedio disminuyó hasta 167.8 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 9.5$ cm). Durante 2002 y 2003, las tallas medias promedio estimadas fueron 169.4 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 11.3$ cm) y 169.9 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 12.4$ cm). En 2004, volvió a disminuir la talla promedio estimada (165.1 cm de LOF, $\sigma_{LOF} = 9.9$ cm). Sin embargo, durante este periodo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($F_{(0.05(1),3,671)} = 0.33$, $P < 0.05$). Finalmente, durante los últimos cuatro años las tallas promedio fueron las más pequeñas estimadas. La talla promedio estimada para 2005 fue 161.9 de LOF ($\sigma_{LOF} = 12.1$), para 2006 fue 161.7 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 11.6$ cm), para 2007 fue 160.2 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 12.4$ cm) y para 2008 fue 160.3 cm de LOF ($\sigma_{LOF} = 10.1$ cm). No se observaron diferencias significativas ($F_{(0.05(1),3,4184)} = 0.33$, $P < 0.05$) dentro de este segundo periodo.

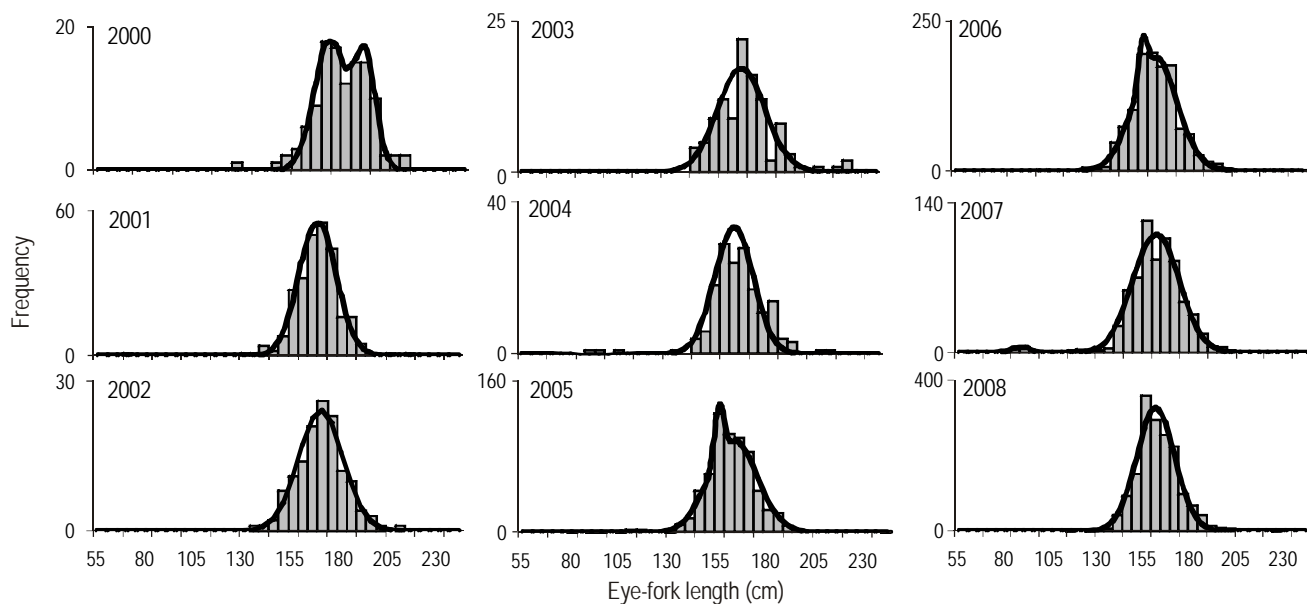


Figure 3. Annual size structure of *Istiophorus platypterus* caught by the artisanal fishery in the Gulf of Tehuantepec from 2000 to 2008.

Figura 3. Estructura de tallas por año de *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec durante el periodo de 2000 a 2008.

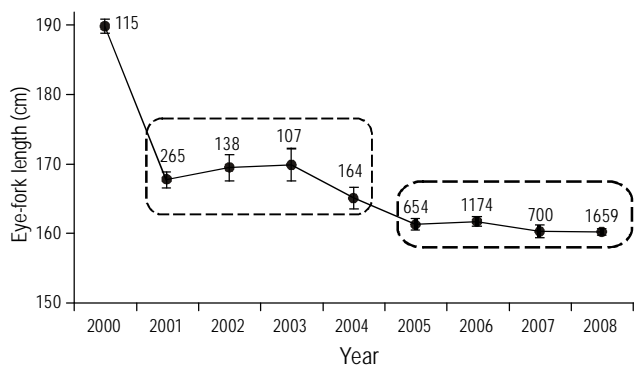


Figure 4. Annual mean size of *Istiophorus platypterus* caught by the artisanal fishery in the Gulf of Tehuantepec from 2000 to 2008. Mean (•), standard error (horizontal bars), and sample size (n , above every bar) are shown. The squares in the figure denote periods with no significant statistical differences (ANOVA, $P < 0.05$).

Figura 4. Talla promedio anual de *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec durante el periodo de 2000 a 2008. Se indica promedio (•), error estándar (barras horizontales) y tamaño de muestra (n , arriba de cada barra). Los recuadros indican periodos sin diferencias estadísticas significativas (ANOVA, $P < 0.05$).

September); this suggests that the increase in the index of relative abundance is related to recruitment to the fishing area. The estimates indicate that the abundance of *I. platypterus* should increase in summer.

In the Gulf of Tehuantepec, the seasonality of the landings has been associated with the hottest and wettest months (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2005). Considering the regional ocean dynamics, during most of the year the Gulf of Tehuantepec is influenced by the Costa Rica Coastal Current (CRCC), which is characterized by a core of high temperature ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) and low salinity (< 33.8). From January to March, the CRCC does not penetrate into the Gulf of Tehuantepec and there is strong outward water flow (Wyrski 1965). During this season, the area is influenced by upwelling-inducing northerly winds called Tehuanos (Blackburn 1962) and temperature can decrease by $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Barton *et al.* 1993). The cold-water currents that emerge along the coast eventually generate anticyclonic mesoscale eddies (100–500 km) that propagate westward. This wind forcing apparently interrupts the coastal flow of the CRCC (Reyes-Hernández and Murad 2005). Hence, the availability of *I. platypterus* for the artisanal fleet in the Gulf of Tehuantepec could be related to the presence of the CRCC, and its interruption in the first months of the year due to the presence of Tehuano winds may impact the change in the index of relative abundance of the species.

A similar periodicity has also been observed at La Guaira, Venezuela, where a 35-boat fleet operates throughout the year and catches billfishes with gillnets (Marcano *et al.* 2001). In this region, billfishes have been monitored since

DISCUSIÓN

Índice de abundancia relativa

Entre 2005 y 2008, se observó una marcada estacionalidad en las tendencias de la captura por unidad de esfuerzo, principalmente en los meses de verano (de julio a septiembre); esta situación sugiere que el aumento del índice de abundancia relativa en este periodo se relaciona con el reclutamiento al área de pesca. Las estimaciones mostraron que durante el verano es cuando se espera un aumento en la abundancia de *I. platypterus*.

En el golfo de Tehuantepec, la temporalidad de las capturas ha sido relacionada con los meses de mayor temperatura y de mayor precipitación pluvial (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2005). Considerando la dinámica oceánica de la región, el golfo de Tehuantepec está influenciado por la corriente costera de Costa Rica (CCCR) durante la mayor parte del año. Esta corriente se caracteriza por un núcleo de alta temperatura ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y baja salinidad (< 33.8). De enero a marzo, la CCCR no penetra en el golfo de Tehuantepec y se registra una fuerte salida de agua (Wyrski 1965). En esta época, la zona se encuentra bajo la influencia de los vientos nortes, denominados Tehuanos, que provocan el surgimiento de aguas frías (Blackburn 1962) y descensos en la temperatura de hasta $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Barton *et al.* 1993). Las corrientes de agua fría que emergen frente a 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 flujo costero de la CCCR (Reyes-Hernández y Murad 2005). Es así que la disponibilidad de *I. platypterus* a la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec podría estar relacionada con la presencia de la CCCR, y la interrupción de la misma en los primeros meses del año por la presencia de Tehuanos podría tener un impacto en el cambio del índice de abundancia relativa de la especie.

Otro sitio donde sucede una periodicidad similar es en La Guaira, Venezuela, donde existe una flota de 35 embarcaciones que pesca durante todo el año y captura picudos con redes de enmalle (Marcano *et al.* 2001). En esta región se ha dado seguimiento a las especies de pico desde 1991, donde *I. albicans* es la especie más representativa en las capturas (Arocha *et al.* 2009, Marcano *et al.* 2010), y se ha documentado una fuerte estacionalidad en las capturas de pez vela; las mayores capturas se registraron para los meses de abril a octubre (Arocha *et al.* 2009). En comparación con el golfo de Tehuantepec, en Venezuela el periodo de alta abundancia es más largo, iniciando en primavera y continuando en el verano.

Otro patrón estacional de la abundancia relativa de *I. albicans* se ha documentado para aguas de Senegal, donde la época de mayores capturas es de junio a noviembre, periodo en el que la especie está disponible a flotas artesanales para su captura con redes de enmalle, curricán y línea

1991, *I. albicans* being the most representative species in the catches (Arocha *et al.* 2009, Marcano *et al.* 2010), and the sailfish landings show strong seasonality, the highest catches occurring from April to October (Arocha *et al.* 2009). In comparison with the Gulf of Tehuantepec, in Venezuela the period of high abundance is longer, initiating in spring and continuing in summer.

A seasonal pattern of relative abundance has also been reported for *I. albicans* in Senegalese waters, where the highest catches are obtained between June and November, period during which the artisanal fleet targets this species using gill-nets, handlines, and fishing tackle (Diatta *et al.* 2010). These authors indicate that the variation in relative abundance is caused by migration to the north of Senegal associated with changes in sea surface temperature. Diatta *et al.* (2010) also suggest that the seasonal migrations of sailfish are related to the period and extent of migration of *Sardinella aurita* (main prey of sailfish), in turn associated with the strength of seasonal upwelling in the area. Off Ivory Coast, Joanny *et al.* (1995) observed that sailfish disappeared completely from the catches during the upwelling season. The observations and changes in abundance reported for *I. albicans* off Africa relate its variability to changes in its environment, mainly upwelling and food availability.

Size structure

The size structure of the organisms captured by the artisanal fleet operating in the Gulf of Tehuantepec was unimodal (except in 2000 and 2005). Organisms measuring less than 130 cm EFL are not commonly caught, so two explanations could be considered: high selectivity of the fishing gear or the occurrence of size or sexual segregation. Similar results have been reported for the size structure of *I. platypterus* along the Pacific coast of Mexico (Alvarado-Castillo and Félix-Uraga 1998, Macías-Zamora *et al.* 2001, Ramírez-Pérez *et al.* 2011). On the other hand, the records of the Japanese longline fleet operating in international waters of the eastern Pacific Ocean show a bimodal size distribution (Uosaki and Bayliff 1999). The mode of the small-sized individuals (120 cm EFL) was formed by catches made between 0° and 40° N and 120° and 150° W. This information suggests that *I. platypterus* presents a size-segregated distribution, the adult organisms occurring in coastal waters; this group of organisms is the one accessible to the artisanal fleet in the Gulf of Tehuantepec.

Significant differences in sex ratio were found in the Gulf of Tehuantepec sailfish landings during the period 2005–2008 (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011), which could influence the size structure. Sexual dimorphism has been observed, females attaining larger sizes than males (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011, Ramírez-Pérez *et al.* 2011). Based on the commercial catches of the Hawaiian fleet, Strasburg (1970) reported a bimodal weight distribution for the white marlin (*Tetrapturus albidus*) and noted that, like

de mano (Diatta *et al.* 2010). Diatta *et al.* 2010 también comentan que la variabilidad en la abundancia relativa 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 con el periodo y extensión de la migración de *Sardinella aurita* (principal presa del pez vela), que a su vez fue relacionada con la fuerza de la surgencia estacional en la zona. Joanny *et al.* (1995) observaron en Costa de Marfil que el pez vela desaparece completamente de las capturas durante la época de surgencia. Las observaciones y cambios en abundancia registrados para *I. albicans* en África relacionan su variabilidad con cambios en su ambiente, principalmente surgencias y alimentación.

Estructura de tallas

La estructura de tallas de los organismos capturados por la flota artesanal que opera en el golfo de Tehuantepec es unimodal (excepto en 2000 y 2005). Las capturas de organismos de menos de 130 cm de LOF no son comunes, por lo que se podrían considerar dos explicaciones posibles: una alta selectividad del arte de pesca o la existencia de una segregación por tallas o sexos. Resultados similares se han observado en la estructura de tallas de *I. platypterus* en las costas del Pacífico mexicano (Alvarado-Castillo y Félix-Uraga 1998, Macías-Zamora *et al.* 2001, Ramírez-Pérez *et al.* 2011). Por otra parte, se ha observado una bimodalidad de tallas en los registros obtenidos de la flota palangrera japonesa que opera en aguas oceánicas internacionales del océano Pacífico oriental (Uosaki y Bayliff 1999). La moda de los peces más pequeños (120 cm de LOF) estuvo formada por las capturas realizadas entre los 0° y 40° N y los 120° y 150° O. Esta información sugiere que el pez vela presenta una distribución segregada por tallas, donde los organismos adultos se distribuyen en aguas costeras; este grupo de organismos es el que está accesible a la flota artesanal del golfo de Tehuantepec.

Se ha documentado que existen diferencias significativas en la proporción de sexos en las capturas del pez vela del golfo de Tehuantepec durante el periodo de 2005 a 2008 (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011), lo que podría estar influenciando la estructura de tallas. Se considera que existe un dimorfismo sexual en el que las hembras presentan mayores tallas que los machos (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011, Ramírez-Pérez *et al.* 2011). Con base en las capturas comerciales de la flota de Hawaii, Strasburg (1970) registró una distribución bimodal para el 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, se acepta que la proporción de sexos influye en la composición de tallas (Goodyear y Arocha 2001).

in the case of the blue marlin (*Makaira nigricans*), the modes could be related to the temporal abundance of one of the sexes. It can thus be accepted that sex ratio affects the size composition (Goodyear and Arocha 2001).

Regarding the mean size of *I. platypterus* captured by the artisanal fleet in the Gulf of Tehuantepec, the nine-year time series analyzed showed a negative tendency, with a decrease of 30 cm during the study period. An immediate effect of fishing is a reduction in the mean capture size, and a change in the size structure can be an indication of overfishing (Shin *et al.* 2005). A review of the information recorded from 1990 to 2009 by observers of the Inter-American Tropical Tuna Commission (<http://www.iattc.org/Catchbygear/IATTC-Catch-by-species1.htm>) revealed the occurrence of significant annual changes, especially in 1990 and 1991; during the rest of the period, the registered sizes showed variation but no specific trend indicating a decrease in the mean size of the organisms caught. It is possible that the change in the mean size of *I. platypterus* is an effect of the strength of an annual class, considering that changes in the catch size frequency have been used as an indication of changes in the age structure of the stock (Goodyear and Arocha 2001). Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* (2011) documented that up to 11 age groups are found in the Gulf of Tehuantepec and that the age class five is the most representative. According to the age-length key of the organisms these authors report, there is an extensive overlap of sizes in each age group, which makes it difficult to clearly observe the changes in the age groups, particularly the older age groups. In addition, segregation by size may occur, adult organisms occupying coastal areas (Uosaki and Bayliff 1999).

Changes in mean size and weight have also been reported for other billfishes. For the marlins *M. nigricans* and *T. albidus* distributed off the coast of Venezuela, Marcano *et al.* (2001) documented changes without significant variations. In the case of the striped marlin (*Tetrapturus audax*) caught in the New Zealand recreational fishery from 1925 to 2003, Kopf *et al.* (2005) observed that the mean weight of this species declined progressively from 6 to 9 kg over every 20 years; however, in 2003 they observed an unusual presence of adult organisms, which significantly increased the mean size in the catches. Nonetheless, these fluctuations were not considered relevant as the mean size did not fall below the length at first maturity (Baum and Myers 2004, Kopf *et al.* 2005). The mean size of sailfish in the Gulf of Tehuantepec (160 cm EFL, estimated minimum mean size) also does not fall below the length at first maturity estimated at 150.2 cm EFL (Cerdaneres-Ladrón de Guevara 2011). Consequently, the lack of clear tendencies showing changes in the mean size of billfishes indicates that size is not a useful indicator of fishing effort (ICCAT 2010).

These species have high growth rates, attaining more than 50% of their mean asymptotic length (L_{∞}) during the first years of their lives. The L_{∞} estimated for *I. platypterus* in the Gulf of Tehuantepec is 180.6 cm EFL, indicating that this

En cuanto a la talla promedio de *I. platypterus* capturado por la flota artesanal en el golfo de Tehuantepec, la serie de tiempo de nueve años analizada mostró una tendencia negativa, observándose una reducción de 30 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 pesca excesiva (Shin *et al.* 2005). Al revisar la información registrada de 1990 a 2009 por el programa de observadores de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (<http://www.iattc.org/Catchbygear/IATTC-Catch-by-species1.htm>), se observó que existen cambios anuales significativos, sobre todo en 1990 y 1991; durante el resto del periodo, se observó una variación en las tallas registradas sin una tendencia específica que indique una disminución en la talla promedio de los organismos capturados. Es posible que los cambios en la talla promedio de *I. platypterus* sean un efecto 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 de la población (Goodyear y Arocha 2001). De acuerdo con Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* (2011), en el golfo de Tehuantepec se encuentran hasta 11 grupos de edad de los cuales el más representativo es el grupo de edad cinco. Según la clave tallada de los organismos que presentan estos autores, se observa un amplio traslape de tallas en cada grupo de edad, lo que impide observar con claridad cambios en los grupos de edad, particularmente en los de edad avanzada. Aunado a lo anterior, es posible una segregación de tallas en la que los organismos adultos se distribuyen en áreas costeras (Uosaki y Bayliff 1999).

En otras especies de picudos también se han observado cambios en la talla y peso promedio. Para las especies *M. nigricans* y *T. albidus* que se distribuyen frente a las costas de Venezuela, Marcano *et al.* (2001) documentaron cambios sin variaciones significativas. En el caso del marlín rayado (*Tetrapturus audax*) capturado por la flota deportiva de Nueva Zelanda de 1925 a 2003, Kopf *et al.* (2005) documentó que el peso promedio de esta especie declinó progresivamente de 6 a 9 kg por cada 20 años; no obstante, en 2003 estos autores observaron una inusual presencia de organismos adultos, incrementando significativamente la talla promedio de las capturas. Sin embargo, estas fluctuaciones no se consideraron relevantes dado que la talla promedio no decayó por debajo de la longitud de primera madurez (Baum y 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 de LOF, talla promedio mínima estimada) tampoco es menor que la longitud de primera madurez, que fue estimada en 150.2 cm de LOF (Cerdaneres-Ladrón de Guevara 2011). En consecuencia, la falta de tendencias claras que muestren cambios en la talla promedio de las especies de pico hace que la talla no se considere de utilidad como un indicador de la presión de pesca (ICCAT 2010).

species reaches more than 80% of L_{∞} in the first three years of life (Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* 2011); these age groups (1, 2, and 3) represent only 4.7% of the catches (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011). In the first two years of life, male and female *M. nigricans* attain 90% and 67% of L_{∞} , respectively (Prince and Brown 1991). *Tetrapturus audax* attains more than 75% of L_{∞} in the first three years of life; these age groups (1, 2 and 3) combined represent only 1.6% of the catches (Melo-Barrera *et al.* 2003, Melo-Barrera and Félix-Uraga 2004).

It is not possible to establish the relationship between fishing effort and changes in mean size to obtain direct evidence of cause (fishing effort) and effect (mean size) (Neuheimer and Taggart 2010). Populations targeted by commercial fisheries, especially selective fishing, have shown a decrease in mean size and there are at least three hypothesis to explain this: (a) it is a fishery-induced evolutionary change that modifies the population size structure (population genetic impact), (b) it is a phenotypic expression that does not affect the age structure of the population, and (c) it is a response to some environmental change. These three hypotheses become relevant if the decrease in mean size affects the size at first maturity (Law 2007). According to ICCAT (2010), there has been little variation in the size distribution and mean size of sailfish in the Atlantic Ocean since 1990; this supports the statement that length is not an effective indicator of fishing pressure. In the present study we noted a change in the mean capture size, but lack elements to associate fishing effort with the decrease in size. In summary, the artisanal sailfish fishery in the Gulf of Tehuantepec showed a unimodal size structure from 2000 to 2009 and the annual variation in mean size showed a negative tendency. The CPUE of *I. platypterus* showed a seasonal trend: values were lower during the first months of the year and higher during the summer, and then decreased again in early winter (December).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed by CONACYT and CONAPESCA (Mexico). We thank the students of the Ichthyology and Fisheries Biology Laboratory at Universidad del Mar for assistance with field work and three reviewers for their valuable comments.

English translation by Christine Harris.

REFERENCES

- Aguirre-Villaseñor H, Morales-Bojórquez E, Morán-Angulo ER, Madrid-Vera J, Valdez-Pineda MC. 2006. Biological indicators for the Pacific sierra (*Scomberomorus sierra*) fishery in the southern Gulf of California, Mexico. *Cienc. Mar.* 32: 471–484.
- Alvarado-Castillo R, Félix-Uraga R. 1998. Growth of *Istiophorus platypterus* (Pices: Istiophoridae) from the mouth of the Gulf of California. *Rev. Biol. Trop.* 46: 115–118.

La tasa de crecimiento que presentan estas especies es alta, y esto ocasiona que en los primeros años de vida alcancen más del 50% de su longitud media asintótica (L_{∞}). Para el caso de *I. platypterus* en el golfo de Tehuantepec, la L_{∞} estimada es de 180.6 cm de LOF, lo que indica que alcanza más del 80% de su L_{∞} en los primeros tres años de vida (Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* 2011); estos grupos de edad representaron solamente 4.7% de las capturas (Cerdenares-Ladrón de Guevara 2011). Antes de los dos años de vida, los machos y las hembras de *M. nigricans* alcanzan 90% y 67% de su L_{∞} , respectivamente (Prince y Brown 1991). *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 sólo representaron 1.6% de las capturas (Melo-Barrera *et al.* 2003, Melo-Barrera y Félix-Uraga 2004).

No es posible asociar una relación entre el esfuerzo pesquero y los cambios en la talla promedio para tener una evidencia directa de la causa (esfuerzo pesquero) y efecto (talla promedio) (Neuheimer y Taggart 2010). Las poblaciones sujetas a la pesca comercial, principalmente la pesca selectiva, han sufrido disminuciones en su talla promedio, y se han propuesto tres hipótesis que explican estos cambios: (a) la pesca induce evolución que modifica la estructura de tallas de la población (impacto genético poblacional), (b) es solo una expresión fenotípica que no afecta la estructura de edades de la población y (c) es un efecto de alguna causa ambiental. Estas tres hipótesis tienen particular relevancia si la disminución en la talla promedio de la población cae por debajo de la talla de primera madurez (Law 2007). El ICCAT (2010) documentó que, desde 1990, las distribuciones de tallas y talla promedio del pez vela del océano Atlántico no han tenido grandes variaciones; esto reduce el valor de usar la longitud como un indicador de la presión de pesca. En nuestro estudio observamos un cambio en la talla promedio de pesca, pero no tenemos elementos que nos permitan mostrar evidencia del esfuerzo de pesca sobre la disminución en la talla. En conclusión, la pesquería artesanal de pez vela en el golfo de Tehuantepec mostró una estructura de tallas unimodal de 2000 a 2009, y la variación anual en la talla promedio mostró una tendencia negativa. La CPUE de *I. platypterus* presentó un cambio estacional: los valores más bajos se presentaron durante el periodo de enero a abril, luego incrementaron durante los meses de verano y nuevamente decayeron hacia diciembre.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por CONACYT y CONAPESCA (México). Agradecemos a los alumnos del Laboratorio de Ictiología y Biología Pesquera de la Universidad del Mar por su colaboración en el trabajo de campo y a los tres árbitros que revisaron el manuscrito inicial por sus valiosas aportaciones.

- Arocha F, Ortiz M, Barrios A, Debrot D, Marcano LA. 2009. Catch rates for sailfish (*Istiophorus albicans*) from small scale fishery off La Guaira, Venezuela: period 1991–2007. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 64: 1844–1853.
- Barton ED, Argote ML, Brown J, Kosro PM, Lavin M, Robles JM, Smith RL, Trasviña A, Vélez HS. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Oceanography 6: 23–30.
- Baum JK, Myers RA. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. Ecol. Lett. 7: 135–145.
- Blackburn M. 1962. An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. US Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 404: 28.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara G. 2005. Caracterización biológica del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1972) capturado en la costa de Oaxaca. MSc thesis, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 42 pp.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara G. 2011. Biología del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder 1792) en el Golfo de Tehuantepec. PhD thesis, IPN-CICIMAR, México, 142 pp.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara G, Morales-Bojórquez E, Rodríguez-Sánchez R. 2011. Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Mar. Biol. Res. 7: 488–499.
- Chiang WC, Chen Y, Sun CL, Su WC, Wang SP, Liu DC, Yeh SZ, Chen WY. 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.
- Collette BB, McDowell JR, Graves JE. 2006. Phylogeny of recent billfishes (Xiphioidei). Bull. Mar. Sci. 79: 455–468.
- Diatta Y, Die DJ, Fitchett M. 2010. Relative abundance indices for sailfish from the artisanal fleet from Senegal. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 65: 1725–1739.
- Die DJ. 2006. Are Atlantic marlins overfished or endangered?. Some reasons why we may not be able to tell. Bull. Mar. Sci. 79: 529–544.
- Goodyear CP, Arocha F. 2001. Size composition of blue and white marlins taken in selected fisheries in the Western North Atlantic. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 53: 249–257.
- Graves JE. 1998. Molecular insights into the population structures of cosmopolitan marine fishes. J. Hered. 89: 427–437.
- Haddon M. 2001. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida, 406 pp.
- Hoolihan J. 2003. Sailfish movement in the Arabian Gulf: A summary of tagging efforts. Mar. Freshwat. Res. 54: 509–513.
- ICCAT. 2010. Report of the 2009 Sailfish Stock Assessment. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 65: 1507–1632.
- Joanny T, Amon-Kothias JB, Bard FX. 1995. Standardized indices of abundance 1988–1994 for billfish (sailfish, blue marlin) and swordfish (*Xiphias gladius*) off Côte d'Ivoire. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 44: 32–33.
- Kopf RK, Davie PS, Holdsworth JC. 2005. Size trends and population characteristics of striped marlin, *Tetrapturus audax*, caught in the New Zealand recreational fishery. N. Z. J. Mar. Freshwat. Res. 39: 1145–1156.
- Law R. 2007. Fisheries-induced evolution: Present status and future directions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 335: 271–277.
- Macías-Zamora R, Vidaurri-Sotelo AL, Santana-Hernández H, Valdez-Flores JJ, Beltrán-Pimienta R. 2001. Pez vela. In: SAGARPA (ed.), Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y Manejo. INAPESCA, México, pp. 389–410.
- Marcano L, Alió JJ, Arocha F, Gutiérrez X. 2001. 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, Arocha F, Alió J, Marcano J, Larez A. 2010. Actividades desarrolladas en el programa de investigación intensiva sobre marlines en Venezuela: periodo 2007–2008. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 65: 1824–1832.
- Melo-Barrera FN, Félix-Uraga R. 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: 981–989.
- Melo-Barrera FN, Félix-Uraga R, Quiñónez-Velázquez C. 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.
- Montgomery SS, Walsh CT, Haddon M, Kesby CL, Johnson D. 2010. Using length data in the Schnute model to describe growth in a metapeneid from waters off Australia. Mar. Freshwat. Res. 61: 1435–1445.
- Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, Wasserman W. 1996. Applied Linear Statistical Models. McGraw-Hill, New York, 1408 pp.
- Neuheimer AB, Taggart CT. 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.
- Pennington M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. Fish. Bull. 94: 98–505.
- Prince ED, Brown BB. 1991. Coordination of the ICCAT enhanced research program for billfish. In: Creel and Angler Surveys in Fisheries Management. Am. Fish. Soc. Symp. 12: 13–17.
- Prince ED, Holts DB, Snodgrass D, Orbesen ES, Luo J, Domeier ML, Serafy JE. 2006. Transboundary movement of sailfish, *Istiophorus platypterus*, off the Pacific coast of central America. Bull. Mar. Sci. 79: 827–838.
- Ramírez-Pérez JS, Quiñónez-Velázquez C, Abitia-Cárdenas AL, Melo-Barrera FN. 2011. Age and growth of sailfish *Istiophorus platypterus* (Shaw in Shaw and Nodder, 1792) from Mazatlan, Sinaloa, Mexico. Environ. Biol. Fish. 92: 187–196.
- Reyes-Hernández CA, Murad P. 2005. Estructura hidrográfica del Golfo de Tehuantepec en septiembre de 2004: Crucero TEHMAL04. GEOS 25: 246.
- 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. PhD thesis, Universidad de Colima, México, 123 pp.
- Shin YJ, Rochet MJ, Jennings S, Field JG, Gislason H. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing. ICES J. Mar. Sci. 62: 384–396.
- Sosa-Nishizaki O. 1998. Historical review of the billfish management in the Mexican Pacific. Cienc. Mar. 24(1): 95–111.
- Strasburg DW. 1970. A report on the billfishes of the central Pacific Ocean. Bull. Mar. Sci. 20: 575–604.
- Uosaki K, Bayliff WH. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988–1992. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 21: 273–488.
- Uozumi Y. 2003. Historical perspective of global billfish assessment. Mar. Freshwat. Res. 54: 555–566.
- Wyrtki K. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 9: 271–304.
- Zar JH. 1999. Biostatistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

Received September 2011,
received in revised form June 2012,
accepted June 2012.