

Research Article

Estructura poblacional y aspectos reproductivos del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) en la costa de Oaxaca, México

**María del Carmen Alejo-Plata¹, Miguel Ángel Ahumada-Sempoal¹
José Luis Gómez-Márquez² & Adrián González-Acosta³**

¹Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México

³Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México
Corresponding author: José Luis Gómez-Márquez (lgomez@unam.mx)

RESUMEN. El tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* es una especie oceánica abundante, que se distribuye en zonas ecuatoriales y tropicales, con importante captura en las costas Atlántica y Pacífica de México. De diciembre 2000 a diciembre 2007 se efectuaron muestreos en cuatro sitios de desembarco de la flota artesanal en la costa de Oaxaca. Durante el período de estudio, se registraron 1236 individuos (602 hembras y 634 machos) de *C. falciformis*. El intervalo de tallas en las hembras varió de 49 a 217 cm LT (media = 111,3 cm) y en machos de 59 a 265 cm de longitud total (LT) (media = 111,7 cm). La proporción sexual macho: hembra fue de 1:1 ($\chi^2_{0.05} = 0.78$, $P > 0,05$). Se estimó una talla de primera madurez sexual de 184,8 cm LT para hembras y 178,5 cm LT para machos. Las capturas estuvieron constituidas principalmente por juveniles. El número promedio de embriones por hembra fue de siete en las 52 hembras preñadas examinadas, con un rango de 3-14 embriones. La LT promedio de los embriones varió de 10 a 66 cm, observándose evidencia de cambios estacionales en la talla. Los resultados obtenidos mostraron que *C. falciformis* da a luz la mayor parte del año, con una mayor proporción de nacimientos durante la temporada de lluvias (mayo a octubre).

Palabras clave: *Carcharhinus falciformis*, pesca artesanal, talla de madurez, reproducción, Golfo de Tehuantepec.

Population structure and reproductive characteristics of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) off the coast of Oaxaca, Mexico

ABSTRACT. *Carcharhinus falciformis* is an abundant oceanic species, which occurs in equatorial and tropical zones, with an important catch in the Atlantic and Pacific coasts of Mexico. Samples were taken from December 2000 to December 2007 in four landing sites of the artisanal fleet on the coast of Oaxaca. During the period of study 1236 specimens (602 females and 634 males) of *C. falciformis* were registered. Total length (TL) ranged from 49 to 217 cm for females (mean = 111.3 cm) and from 59 to 265 cm for males (mean = 111.7 cm). The sex ratio of females to males was 1:1 ($\chi^2_{0.05} = 0.78$, $P > 0.05$). The present data suggest a size at first sexual maturity of about 184.8 cm TL for females and 178.5 cm TL for males. The catches were composed mainly of young. In the 52 gravid females examined, the average number of embryos per female was seven; with a range of 3-14 embryos. Mean TL of embryos ranged from 10 to 66 cm with evidence of seasonal changes in the size structure. Results obtained showed that *C. falciformis* gives birth most of the year, with the highest proportion of births during the rainy season (May to October).

Keywords: *Carcharhinus falciformis*, artisanal fishery, size at maturity, reproduction, Gulf of Tehuantepec.

INTRODUCCIÓN

Los tiburones son organismos marinos altamente vulnerables a la sobre-explotación pesquera, debido entre otras cosas, a las características particulares de su historia de vida (Watson *et al.*, 2009). Algunas especies como el tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* han sido explotados por décadas y actualmente se han venido implementado medidas para regular su captura (Smith *et al.*, 2009). En particular, el tiburón piloto se caracteriza por presentar un tiempo generacional entre 11 y 16 años, así como un tipo de reproducción vivípara placentaria, con ciclos bianuales con vitelogenénesis y gestación consecutivas (Bransteter, 1987; Galván-Tirado *et al.*, 2015). El período de gestación es de ~12 meses y el número de embriones por camada varía geográficamente (Castro, 2009). Debido a su amplia distribución e importancia pesquera (Bonfil *et al.*, 2009), se han realizado estudios sobre aspectos reproductivos de esta especie en diferentes partes del mundo (Branstetter, 1987; Last & Stevens, 1994; Oshitani *et al.*, 2003; Joung *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2012). Sin embargo, son escasos los antecedentes en las costas Atlántica (Bonfil *et al.*, 1993) y Pacífica de México (Soriano *et al.*, 2006; Cruz *et al.*, 2011; Hoyos-Padilla *et al.*, 2012; Galván-Tirado *et al.*, 2015).

Es una de las especies más importantes en las pesquerías artesanales ribereñas y de mediana altura en el Pacífico mexicano. Las áreas de mayor captura son el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec (Soriano *et al.*, 2006), este último comprende parte del litoral de Oaxaca donde la pesca artesanal de tiburón está constituida en un 90% por *C. falciformis* (Alejo-Plata *et al.*, 2006) y el Estado de Chiapas, donde Puerto Chiapas es el puerto de mayor descarga de esta especie de tiburón en el país (Soriano *et al.*, 2006). Este trabajo analiza la estructura poblacional y aspectos de la biología reproductiva de *C. falciformis* en la costa de Oaxaca y su relación con la temperatura superficial del mar y el ciclo de lluvias-estiaje, lo cual puede coadyuvar al mejor manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de este recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de estudio corresponde a la costa de Oaxaca, que incluye la parte centro-oeste del Golfo de Tehuantepec. Esta región se caracteriza por su plataforma continental que se ensancha hacia el este, alcanzando una amplitud máxima de 106,8 km a los 93-94°W, y se reduce hacia el oeste, con una amplitud mínima de ~17,8 km a los 95,5°W (Fig. 1). La zona se caracteriza por la presencia de lluvias, tormentas y

ciclones tropicales desde mayo/junio hasta septiembre/octubre, que son los meses más cálidos del año, y por el estiaje desde noviembre hasta abril. Un fenómeno característico de esta región es la llegada de vientos del norte o "Tehuano" (Lavín *et al.*, 1992), la presencia de estos episodios se refleja en las aguas relativamente productivas y frías del Golfo de Tehuantepec (Liang *et al.*, 2009).

Trabajo e información de campo

De diciembre 2000 a diciembre 2007 se efectuaron recolectas en cuatro sitios de desembarco de la flota artesanal en la costa de Oaxaca. El trabajo de campo se realizó durante dos días a la semana en las localidades de Puerto Escondido, Puerto Ángel-San Agustín y Huatulco, y quincenalmente en la ensenada Chipehua (Fig. 1). En la región se encuentran tres unidades pesqueras artesanales que capturan tiburón, ya sea como pesca dirigida (tiburonera) o incidental (pelágica y demersal) (Tabla 1).

Los ejemplares de tiburón piloto fueron identificados con las claves de Compagno (1984). Se clasificó a los individuos de acuerdo a los criterios de Pratt (1979) como neonatos (individuos con cicatriz umbilical abierta) y juveniles del año (individuos de nado libre y con cicatriz umbilical parcialmente cerrada).

El sexo se identificó a partir de la presencia y/o ausencia de mixopterigios. En los machos se midió la longitud del mixopterigio (mm) considerada desde el inicio de la cloaca hasta la punta distal del mismo, se observó el grado de calcificación, rotación y apertura del rifidion (punta distal). Los machos que presentaron mixopterigio sin calcificar se consideraron inmaduros o juveniles; los machos que presentaron mixopterigio calcificados que rotaban fácilmente y se abría el rifidion fueron registrados como adultos o maduros (Clark & Von Schmidt, 1965).

Las hembras fueron consideradas maduras cuando se observaron ovocitos vitelogénicos y vascularizados, glándulas oviductuales grandes y úteros bien desarrollados, o bien los úteros contenían huevos o embriones (Liu *et al.*, 1999). En el caso de hembras preñadas, se contabilizó y midió los embriones (LT, cm).

Debido a las características de desembarque y manejo del tiburón en playa, no fue posible registrar el peso y longitud total de todos los ejemplares. Para obtener los datos biométricos utilizados y recobrar información de ejemplares eviscerados y sin aletas ni cabeza (en esta región de México denominados troncho), se registraron las siguientes medidas con una cinta métrica flexible (al 0,5 cm más cercano): longitud total (LT), longitud troncho (Ltr, medida entre la última

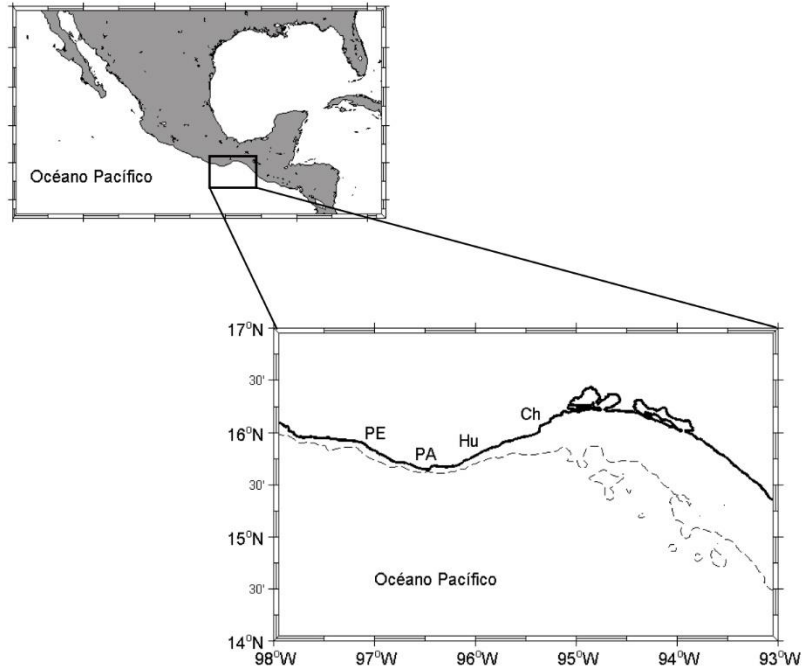


Figura 1. Área de estudio. PE: Puerto Escondido, PA: Puerto Ángel, Hu: Huatulco, Ch: Chipehua. El límite de la plataforma continental está representado por la isobata de 200 m. La batimetría fue obtenida de la base de datos ETOPO2 [<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>].

Tabla 1. Descripción de las unidades de pesca utilizadas en la pesca artesanal en la costa de Oaxaca, México, de donde se obtuvieron las muestras del tiburón.

Unidad de pesca	Especies objetivo	Equipos de pesca	Especies incidentales
Demersal Lanchas con motor fuera de borda 7,5 m eslora/ canoas de madera sin motor	Peces óseos demersales	-Redes de enmalle 3 a 5'', longitud 100 m	Tiburón (juveniles y neonatos), rayas (<i>Dasyatis</i> , <i>Rhinobatos</i> , <i>Gymnura</i>), <i>Coryphaena hippurus</i> .
Pelágica Lanchas con motor fuera de borda 7,5 m eslora	Atún (<i>Tunnus albacares</i>), barriletes (<i>Euthynnus linneatus</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>)	-Curricanes, anzuelos dobles, N° 24 o 25 -Palangre de superficie, anzuelo noruego recto N° 1 ó 0, garra de águila 14/0 a 16/0 -Palangre de superficie con boyas, anzuelo noruego recto N° 1 ó 0, garra de águila 14/0 a 16/0; carnada viva	Juveniles de <i>S. lewini</i> y <i>C. falciformis</i> , picudos (<i>Istiophorus platypterus</i> , <i>Makaira mazara</i> , <i>M. indica</i>), <i>Coryphaena hippurus</i> , <i>C. equiselis</i> .
Tiburonera Lanchas con motor fuera de borda 10 m eslora	Tiburones (<i>Carcharhinus falciformis</i> , <i>C. limbatus</i> <i>C. leucas</i> , <i>C. porosus</i> , <i>Sphrna lewini</i> , <i>Alopias pelagicus</i> , <i>A. vulpinus</i> , <i>Nasolamia velox</i> , <i>Mustelus lunulatus</i>)	-Palangre de superficie, anzuelo noruego recto 1 ó 01, garra águila 16/0, japonés -Redes de deriva, 8 a 12'', longitud hasta 300 m -Palangre de superficie con boyas	Picudos (<i>Istiophorus platypterus</i> , <i>Makaira mazara</i> , <i>M. indica</i>), <i>Coryphaena hippurus</i> , <i>C. equiselis</i> .

abertura branquial y la foseta precaudal), peso eviscerado (Pe) y total (PT) registrado con una balanza digital con precisión de 5 g.

Los datos de las tallas se analizaron por temporada de lluvias y secas; se aplicó el método no paramétrico Kruskal-Wallis para comparar las tallas entre ambas temporadas, debido a que los datos no presentaron homocedasticidad (Zar, 1999).

La proporción de sexos se determinó a partir de la relación entre el número de hembras y machos (H:M) registrados en la población capturada. Así mismo, se

utilizó la prueba estadística Chi cuadrado (χ^2) para determinar si la proporción de sexos por estado ontogénico y por mes se desviaba de la relación 1:1 (Zar, 1999). En el caso de los embriones, se calculó la proporción media de las hembras por camada y se comparó con el valor teórico de 0,5; se consideró como unidad muestral a la madre de la camada (Walker, 2005).

La longitud en que el 50% de los tiburones en la frecuencia de clase están maduros (L_{50}), fue estimada para hembras y machos usando la función logística:

$$Mf = \frac{1}{1 + e^{-a(Li-b)}}$$

Donde, Mf es la fracción de tiburones maduros, L_i la longitud del cuerpo, los parámetros, a y b fueron estimados ajustando una función de máxima verosimilitud (Haddon, 2001); el valor de a representa la pendiente de la curva que describe la tasa de cambio en Mf y $b = L_{50}$.

Para estimar la fecundidad, en cada hembra preñada se contaron los embriones o huevos presentes en cada útero. Para analizar el patrón estacional en el crecimiento de los embriones, las muestras de siete años fueron agrupadas para construir un “año tipo”. Para establecer el período de gestación, se consideró el crecimiento promedio mensual en longitud total de los embriones. La talla de nacimiento se estimó del embrión con la talla máxima observada y la talla mínima del individuo de nado libre capturado al mismo tiempo y lugar (Pratt & Casey, 1990).

La variabilidad mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) y precipitación (P) para el periodo 2000-2007 (Fig. 2) fue estimada respectivamente de imágenes nivel 3 con resolución de 4 km del MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) y de la base de datos histórica de la Estación Meteorológica Automática (EMA) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), localizada en Puerto Ángel, Oaxaca (15°40' 16"N, 96°29'50"W).

RESULTADOS

Estructura de tallas y relación talla-peso

Los neonatos y juveniles del año (edad <1 año), de tiburón piloto fueron capturados como pesca incidental de la unidad de pesquería demersal. Los tiburones maduros y las hembras grávidas se presentaron en las capturas de la unidad tiburonera, mientras que los individuos juveniles se capturaron por las unidades tiburonera y pelágica. Las mayores capturas de juveniles se obtuvieron de la pesquería pelágica, que opera más cerca de la costa.

Para facilitar la comparación con otros trabajos, los resultados se reportaron en LT, se utilizó la regresión lineal para determinar la relación existente entre LT y Ltr. Estas relaciones biométricas mostraron una adecuada asociación entre ellas como lo indican los valores de R^2 .

Machos $LT = 1,15Ltr + 24,82$ ($R^2 = 0,93$; $n = 209$; $P < 0,05$)
 Hembras $LT = 1,29Ltr + 9,07$ ($R^2 = 0,90$; $n = 201$; $P < 0,05$)

La distribución de frecuencias de tallas fue estimada sobre un total de 1,236 mediciones. Se registraron 602

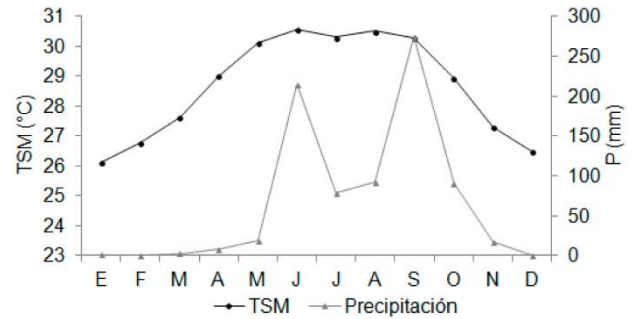


Figura 2. Promedios mensuales de precipitación (P) en una estación costera (15°40' 16"N, 96°29' 50"W) y la temperatura superficial del mar (TSM) en la región occidental del Golfo de Tehuantepec en el período 2000-2007.

hembras con un intervalo de tallas de 49 a 217 cm LT (media = 111,3; DE = 34,9); 634 machos en el intervalo de 59 a 265 cm LT (media = 111,7; DE = 29,84).

Las capturas de tiburón piloto estuvieron conformadas principalmente por juveniles (72%, 75-168 cm LT), adultos (22,8%, >170 cm LT) y neonatos (5,2%, 65-75 cm LT). La LT de las hembras mostró tres modas, dos correspondieron a juveniles y una a adultos (incluyendo hembras grávidas) (Fig. 3a). Una tendencia similar se observó en los machos (Fig. 3b).

En la estructura de tallas mensual se observó que de mayo a octubre (temporada de lluvias, Fig. 2), la talla promedio fue de 99,6 cm LT (DE = 23,36), con un predominio de tallas <125 cm LT (88,5%). De noviembre a abril (temporada de estiaje), la talla promedio fue de 129,5 cm LT (DE = 36,46) y se observó la presencia de adultos con tallas >170 cm LT (17,3%) (Fig. 4). De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$) se determinaron diferencias significativas entre temporadas.

El intervalo de peso fue de 1,75 a 41,2 kg en hembras y de 1,75 a 42,1 kg en machos. Las ecuaciones de la relación peso-longitud fueron las siguientes:

Hembras $PT = 1 \times 10^{-5} LT^{2,943}$ $n = 32$, $R^2 = 0,878$
 Machos $PT = 1 \times 10^{-6} LT^{3,42}$ $n = 53$, $R^2 = 0,825$

Proporción de sexos

La proporción de sexos H:M de la muestra total no difirió significativamente de 1 ($\chi^2_{0,05} = 0,78$, $P > 0,05$). Sin embargo, en la proporción mensual de sexos se presentaron diferencias significativas en noviembre entre los sexos (1 H:1,44 M; $\chi^2_{0,05} = 8,5$; $P < 0,05$).

Los neonatos se observaron a lo largo del año, con una LT promedio de 65 cm y una proporción de sexos 1H:1M ($\chi^2_{0,05} = 0,16$, $P > 0,05$), con mayor abundancia en mayo-junio. Los juveniles del año (edad <1 año) se capturaron durante agosto, con una LT promedio de 75

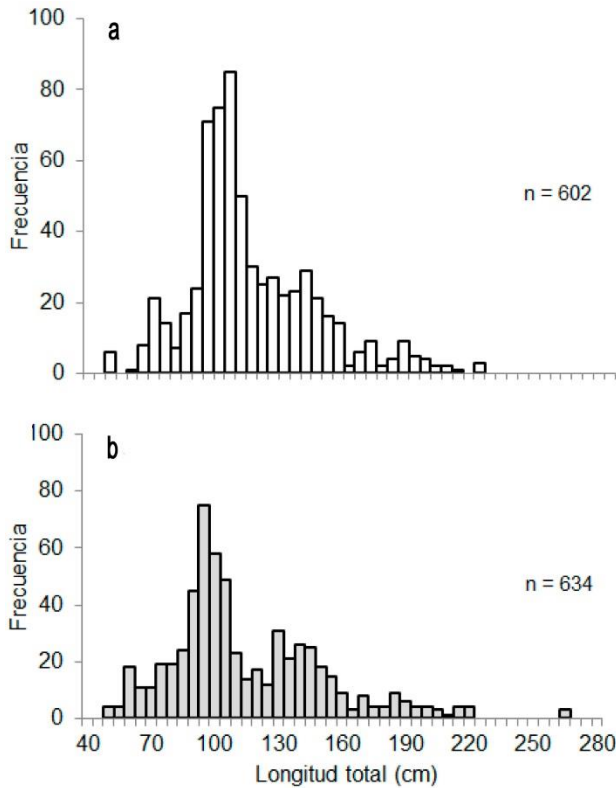


Figura 3. a) Frecuencia de longitud en hembras y b) machos de *Carcharhinus falciformis* capturados frente a la costa de Oaxaca (México) entre 2000 y 2007.

cm. Los individuos juveniles con un intervalo de 80-170 cm LT y una proporción de sexos 1:1 ($\chi^2_{0,05} = 0,38$; $P > 0,05$) estuvieron presentes todo el año, con mayor abundancia de junio a noviembre (44% de la captura).

Crecimiento del mixopterigio

Machos con una LT < 120 cm tenían el mixopterigio no calcificado y se clasificaron como inmaduros. El comienzo de la madurez sexual se presentó alrededor de 125 cm LT cuando la longitud del mixopterigio se incrementó abruptamente (Fig. 5). Los machos en maduración aparecen en el rango 125-140 cm LT, y se registraron hasta los 150-155 cm LT. Machos maduros con mixopterigio totalmente calcificado se observaron a 140 cm LT y los machos >160 cm LT estaban maduros. Individuos con mixopterigios >200 mm tenían semen y algunos presentaron hematomas. La relación entre la longitud del mixopterigio y la LT se indica en la Figura 5. De la curva resultante, se infiere que el mixopterigio experimenta un lento crecimiento durante el período en que no hay calcificación, aumentando notablemente en su longitud al inicio de su calcificación.

Talla de madurez

Todas las hembras con LT < 160 cm fueron inmaduras. Las hembras maduras se registraron a partir del intervalo de clase de 160-170 cm LT. La LT_{50} estimada fue de $184,8 \pm 1,7$ cm (intervalo de confianza 95%; Fig. 6a). Hembras con LT < LT_{50} incluyeron al 93% de las hembras capturadas. La madurez sexual en machos se observó a partir del intervalo de 120-125 cm LT, la LT_{50} estimada fue de $178,5 \pm 4,14$ cm (intervalo de confianza 95%; Fig. 6b); tiburones con LT < LT_{50} comprendieron el 94,7% del total de machos capturados.

Se observaron hembras grávidas entre 155 y 256 cm LT (media = 195,7, DE = 21,82) de enero a junio. La LT_{50} de maternidad estimada fue de 190,3 cm LT (Fig. 6a).

Fecundidad, talla de embriones y nacimiento

Se registraron 52 hembras preñadas, con ovocitos en desarrollo en el ovario y embriones o huevos en sus úteros al mismo tiempo. El tamaño de la camada en hembras grávidas fue de 3 a 14 embriones (media = 7, DE = 2,58). La fecundidad y la LT de la madre no mostró una correlación significativa ($r = 0,36$, $P > 0,05$). De diciembre a marzo se encontraron hembras con huevos uterinos.

La LT promedio de los embriones varió entre 10 y 66 cm (Fig. 7). El coeficiente de variación de la LT de los embriones en las camadas individuales fue de 3,3%. Hembras con embriones >52 cm LT (que es la longitud mínima registrada en un neonato), se observaron en enero y marzo, abril a julio. Los neonatos con LT <67 cm se registraron en 8 de los 11 meses en que se obtuvieron muestras (Fig. 7). De los datos anteriores se deduce que *C. falciformis* presenta períodos de nacimiento la mayor parte del año, donde la mayor proporción de nacimientos ocurre de mayo a agosto. La talla al nacer fue de 52 a 64 cm LT (media = 55,8, DE = 3,33). La proporción media de las hembras por camada fue menor a la proporción de machos, por cada cinco hembras se presentaron seis machos ($\chi^2_{0,05} = 23,56$, $P < 0,05$).

DISCUSIÓN

En la costa de Oaxaca el tiburón piloto es abundante y accesible a la pesca artesanal. Esto puede estar relacionado con las características oceanográficas de la región, que se caracteriza por tener una plataforma continental muy estrecha (Fig. 1). Se sabe que los juveniles tienden a habitar aguas más costeras que los adultos y que los recién nacidos que tienen preferencias demersales y junto con algunos juveniles, ocupan áreas de crianza en aguas costeras (Branstetter, 1987; Bonfil, 1997, 2008; Soriano *et al.*, 2006). Las

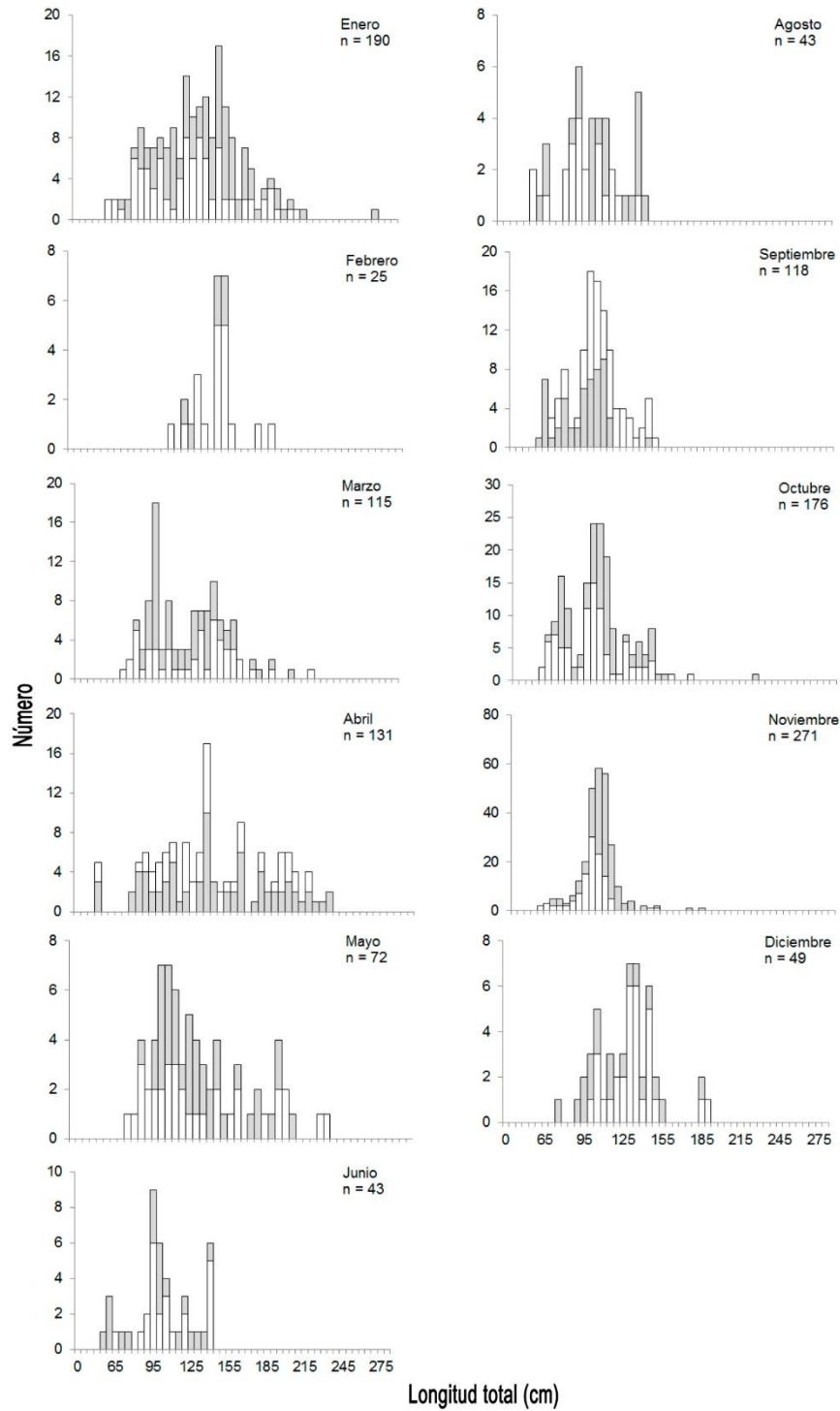


Figura 4. Histogramas mensuales de frecuencia para hembras □ y machos ■ de *Carcharhinus falciformis* capturados en aguas frente a la costa de Oaxaca (México) entre 2000 y 2007.

mayores capturas de juveniles se registraron a profundidades inferiores a 50 m (Kohin *et al.*, 2006; Brenes *et al.*, 2000).

Otro rasgo importante de la región es la TSM, que se encuentra sobre 26°C todo el año; de octubre a enero entre 26 y 28°C, cuando se presentan las mayores cap-

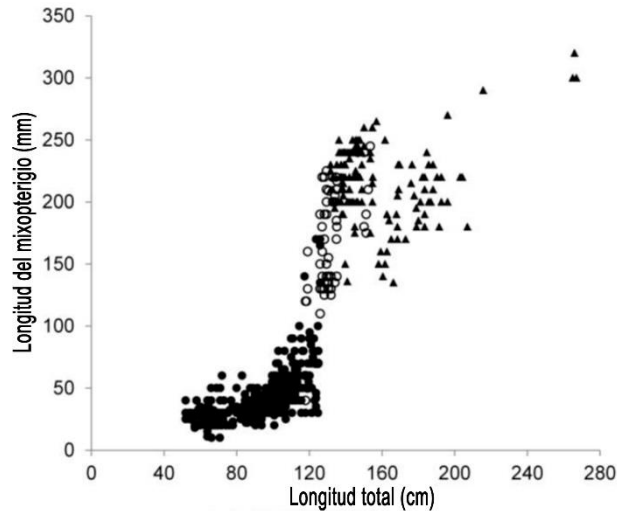


Figura 5. Relaciones entre la longitud del mixopterigio y la longitud total (LT) de machos *Carcharhinus falciformis* capturados frente a la costa de Oaxaca (México) entre 2000 y 2007. ●, mixopterigio no calcificado; ○ mixopterigio parcialmente calcificado; ▲ mixopterigio totalmente calcificado; n = 596).

turas. Al respecto, Kohin *et al.* (2006) mencionan que *C. falciformis* habita en un intervalo de temperatura muy estrecho (28-30°C); para aguas de Nicaragua, Brenes *et al.* (2000) reportaron las mayores capturas a 26-28°C; mientras que Cruz *et al.* (2011) registraron abundancias importantes entre 24 y 28°C en el Pacífico central mexicano.

Además, los resultados muestran que en la zona de estudio los diferentes estados ontogénicos se acercan a la costa, en estrecha relación con la alternancia del régimen lluvias-estiaje. En la temporada de estiaje predominaron los tiburones adultos. En cambio en la temporada de lluvias, cuando se presentan las mayores temperaturas del año (29-31°C), se registraron individuos juveniles y aumentó la proporción de neonatos y juveniles.

Los juveniles con frecuencia se encuentran asociados a objetos flotantes (Watson *et al.*, 2009). En la zona de estudio estos objetos pueden ser naturales (troncos, ramas, algas) o artificiales (cuerdas, redes, boyas), y son originados por el transporte de vegetación costera debido a las crecientes de los ríos y arroyos de temporal, así como por la apertura de las boca-barras de lagunas costeras, principalmente durante la temporada tardía de lluvias. Es posible que *C. falciformis* se asocie a los objetos flotantes con fines de alimentación. Filmater *et al.* (2011) observaron que los tiburones pueden permanecer varios días en los objetos flotantes con fines de forrajeo y hacer excursiones cortas durante la noche.

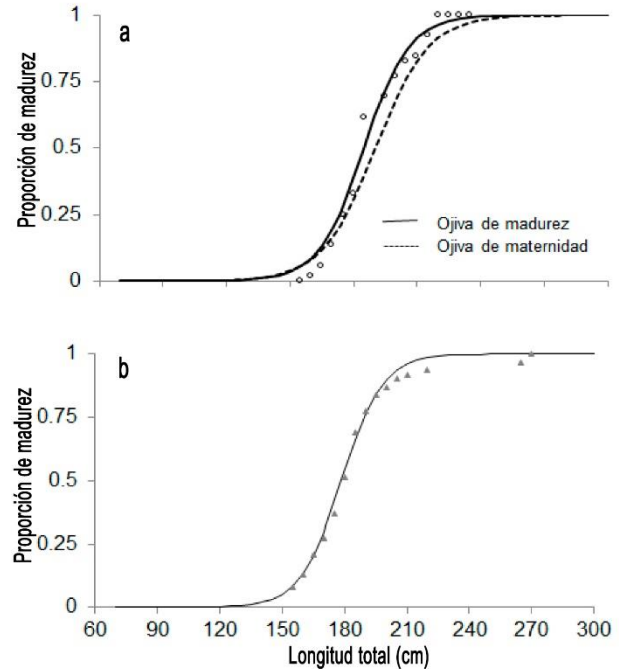


Figura 6. Proporción de individuos maduros en longitud a intervalos de 5 cm de *Carcharhinus falciformis* capturados frente a la costa de Oaxaca (México) entre 2000 y 2007. a) hembras y b) machos.

Además, estos autores mencionan que durante la asociación, el tiburón piloto ocupa los primeros 35 m de la columna de agua, siendo más vulnerable a las capturas.

En estudios previos realizados en otras localidades, se registró una mayor proporción de hembras (Branstetter, 1987; Oshitani *et al.*, 2003; Hoyos-Padilla *et al.*, 2012). En este trabajo considerando todo el período de estudio, no se observaron diferencias significativas en la proporción de sexos. Sin embargo, al hacer un análisis mensual, se observó un mayor número de machos durante el periodo de lluvias. No obstante, no se conoce por qué se presenta una mayor proporción de hembras o machos en esta especie. Algunos autores señalan una segregación por tallas y sexo (Villavicencio-Garayzar, 1996; Sánchez-de Ita *et al.*, 2011).

Las tallas de captura a lo largo del Pacífico mexicano presentan diferencias, que se pueden deber a las zonas y artes de pesca, pero también a un gradiente latitudinal. Para la costa oeste de Baja California, Hoyos-Padilla *et al.* (2012) registraron tallas de 88-316 cm LT; para el Pacífico central, Cruz *et al.* (2011) reportaron organismos de 65-215 cm LT y para Oaxaca y Chiapas, Galván-Tirado *et al.* (2015) registraron tallas de 69-220 cm LT. En el presente trabajo, se observaron tallas de 49-265 cm LT, que están en el inter-

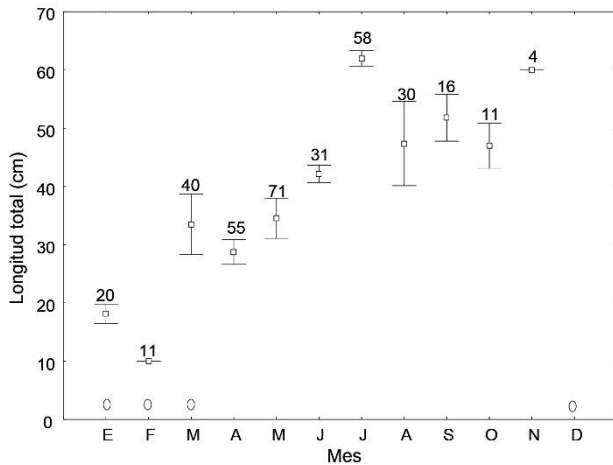


Figura 7. Longitud media total de embriones en el útero de cada hembra preñada de *Carcharhinus falciformis* capturados frente a la costa de Oaxaca (México) entre 2000 y 2007. Los huevos observados en el útero de cuatro hembras se representan como embriones de LT = 0 sobre la barra se indica el número total de embriones.

valo reportado por Soriano *et al.* (2006) para el golfo de Tehuantepec (50-340 cm LT).

La talla de primera madurez (LT₅₀) estimada fue menor a la reportada en otras regiones (Tabla 2). La comparación de la longitud a la madurez de varias especies de tiburones oceánicos ha mostrado diferencias con respecto a la cual los individuos de una población adquieren la madurez sexual en diferentes regiones de su ámbito geográfico (Goldman & Musick, 2006). Estas variaciones en la talla de madurez han sido relacionadas con un gradiente latitudinal (Cornello *et al.*, 2006; Joung *et al.*, 2008). En general, los peces maduran y crecen más rápido en zonas tropicales y crecen lento y maduran tarde en zonas templadas (Lombardi-Carlson *et al.*, 2003). Una de las hipótesis que puede explicar este patrón en ectotermos, es que un tamaño corporal mayor en latitudes más altas, permitiría una mayor cantidad de energía almacenada para la temporada de menor disponibilidad de recursos (Blackburn *et al.*, 1999).

La talla media de captura en la costa de Oaxaca (112 cm LT) es menor que la longitud de primera madurez estimada para ambos sexos, y menor que la talla de maternidad estimada. Se determinó una elevada proporción de hembras y machos con una longitud total menor a sus correspondientes LT₅₀ (93 y 94,7%, respectivamente), esto mismo ha sido observado en otras regiones. En el Océano Índico, Hall *et al.* (2012) reportaron una alta proporción de ambos sexos con LT < LT₅₀ capturados con red de enmalle y palangre; Watson *et al.* (2009) registraron las mayores capturas de esta especie (LT < 90 cm) en las capturas inci-

dentales asociadas a la pesca de atún en el Pacífico tropical oriental. En la costa de Oaxaca, las operaciones de pesca se realizan cerca de la costa, donde los juveniles se encuentran con más frecuencia y son más susceptibles a la pesca. Si esto continúa, tendría repercusiones sobre las estrategias de manejo para esta especie, ya que la captura selectiva podría tener un impacto en la capacidad de la población para recuperarse.

Si bien los datos obtenidos durante el periodo de muestreo no proporcionan información sobre la duración completa del ciclo reproductivo de las hembras, si indican que éstas no ovulan inmediatamente después del parto debido a que la maduración de los ovocitos no está finalizada al momento de los nacimientos. Sin embargo, no se encontró un patrón de desarrollo claro y parece haber evidencia de un ciclo reproductivo con cierta sincronización. La ausencia de ovocitos en desarrollo en hembras con embriones a término indica que los ciclos ováricos y uterinos son secuenciales. Todo esto sugiere que en la costa de Oaxaca, *C. falciformis* puede tener un ciclo bianual, previamente reportado por Bransteter (1987) para el golfo de México. Sin embargo, Galván-Tirado *et al.* (2015) para el golfo de Tehuantepec mencionan que puede extenderse de 3 o 4 años.

En la costa de Oaxaca las hembras pueden contener al mismo tiempo ovocitos vitelogénicos, huevos o embriones, que junto con la distribución mensual de la talla de los embriones, sería indicativo que esta especie da a luz a lo largo del año o en la mayor parte del año. Esto se ha observado en otras regiones tropicales del Pacífico e Índico, donde no tiene un periodo de alumbramiento fijo (Strasburg, 1958; Bass *et al.*, 1973; Stevens & McLoughlin, 1991; Cruz *et al.*, 2011; Hoyos-Padilla *et al.*, 2012). Sin embargo, en aguas templadas-cálidas del Golfo de México, Bransteter (1987) y Bonfil *et al.* (1993) sugieren un periodo de gestación de 12 meses y fijan el periodo de nacimientos de mayo a junio. Estas diferencias se deberían a que la gestación en los tiburones depende principalmente de la temperatura (Pratt & Casey, 1990).

Se estimó una fecundidad de 3 a 14 crías por hembra, lo cual concuerda con lo señalado por Cruz *et al.* (2011) para el Pacífico central mexicano, y es similar a la registrada en otras regiones del Pacífico (Tabla 2). La talla de nacimiento estimada para la costa de Oaxaca (52-64 cm LT) se encuentra en el intervalo reportado por Oshitani *et al.* (2003) para todo el Océano Pacífico (65-81 cm LT) y Joung *et al.* (2008) para Taiwan (63,5-75,5 cm LT), lo que sugiere que la talla de nacimiento podría ser similar en todo el Pacífico; mientras que para el Atlántico las tallas de nacimiento son mayores (75-80 cm LT; Bonfil *et al.*, 1993).

Tabla 2. Comparación de la talla de madurez (L_{50}), talla de nacimiento (Lb) y tamaño de la camada de *Carcharhinus falciformis* en la costa de Oaxaca, México (este estudio), con registros previos para esta especie.

Región (periodo de muestreo)	Talla de madurez (cm)		Lb (cm)	Fecundidad	Autor
	hembras	machos			
Noreste Golfo de México (1982-1985)	210-220	>225		2-12	Bransteter (1987)
Golfo de México (1985-1989)	232-245		75-80	5	Bonfil <i>et al.</i> (1993)
Océano Atlántico noroeste	234	218			Springer (1960)
Océano Atlántico ecuatorial (1998-2004)	230	210-230		4-15	Hazin <i>et al.</i> (1990)
Pacífico noroeste (2000-2002)	210-220	212.5	63.5-75.5	8-10	Jung <i>et al.</i> (2008)
Pacífico central australiano	238-250	200-208			Strasburg (1958)
Océano Índico oriental (2001-2006)	215.6	207.6	81.1	2-14	Hall <i>et al.</i> (2012)
Océano Pacífico (1992-1999)	193-200	186	65-80	1-16	Oshitani <i>et al.</i> (2003)
Costa occidental de Baja California, México (2000-2002)	180	182			Hoyos-Padilla <i>et al.</i> (2012)
Pacífico central de México (2006-2007)				3-7	Cruz <i>et al.</i> (2011)
Golfo de Tehuantepec (1996-2003)	177	168	50		Soriano <i>et al.</i> (2006)
Golfo de Tehuantepec (2004-2006)	190	180	60-69	2-14	Galván-Tirado <i>et al.</i> (2015)
Costa de Oaxaca, México (2000-2007)	184,8	178,5	52-64	3-14	Este estudio

Aunque la estación y talla de nacimiento parecen ser similares a lo largo del Pacífico mexicano, la captura de hembras en diferentes estados de gravidez es variable. Hoyos-Padilla *et al.* (2012) para la costa oeste de Baja California encontraron hembras ovulando, con huevos en útero y con embriones de 6-8 cm LT de julio a septiembre, y sólo registraron una hembra con embriones a término en junio. Para el Pacífico sur de México, Soriano *et al.* (2006), Galván-Tirado *et al.* (2015) y en el presente trabajo se observaron hembras con embriones a término, lo cual sugiere que *C. falciformis* utiliza las aguas costeras del suroeste de México como zona de nacimiento y crianza, para posteriormente migrar al norte para reproducirse.

A partir de datos que indican movimientos limitados de individuos marcados en el Pacífico oriental (Kohin *et al.*, 2006) y de análisis de ADN (Galván-Tirado *et al.*, 2013), sugieren la existencia de diferenciación genética entre las poblaciones de tiburón piloto, que parece corresponder a un gradiente latitudinal en el Pacífico. Además, se han observado diferencias en aspectos reproductivos, edad y crecimiento entre las regiones oriental y occidental del Pacífico (Joung *et al.*, 2008) y aún dentro de la misma región (Galván-Tirado *et al.*, 2013) (Tabla 2).

En la zona de estudio se obtuvieron de manera simultánea, hembras grávidas con embriones terminales, neonatos y juveniles del año, que junto con una importante abundancia de juveniles durante todo el año, sugiere que el esfuerzo de la pesca artesanal se dirige de manera oportunista a las zonas de reproducción. Es probable que en la costa de Oaxaca se encuentre una área de nacimiento y crianza, debido a que se cumplen parcialmente los criterios para clasificar áreas de crianza propuestos por Heupel *et al.* (2007): i) los

tiburones son más frecuentemente encontrados en el área que en otras; la zona de estudio no cumple este criterio, en el Golfo de Tehuantepec son comunes los neonatos y juveniles, por lo cual su presencia no es exclusiva de la costa de Oaxaca; ii) los tiburones tienen la tendencia de permanecer o regresar por periodos extensos al área; la zona de estudio lo cumple parcialmente, en las capturas se registraron neonatos y juveniles cercanos a la madurez, lo que indica que permanecen por varios años en la costa de Oaxaca; iii) el área es utilizada repetidamente a través de los años; se han registrado en los muestreos de por lo menos seis años, neonatos y juveniles del año, lo que sugiere que la costa de Oaxaca es usada por neonatos y juveniles del año repetidamente a través de los años. Sin embargo, es necesario realizar un estudio regional, donde se incluya un programa piloto de marcado y recaptura de neonatos y monitoreo acústico, así como una evaluación oceanográfica de sus hábitats costeros.

Además, se ha reportado que la mayoría de las especies del género *Carcharhinus* tienen sus áreas de crianza en aguas tropicales o subtropicales resguardadas, como son bahías o lagunas costeras (Villavicencio-Garayzar *et al.*, 1996; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009). La costa de Oaxaca presenta bahías con arrecifes, lagunas costeras y ríos que aportan nutrientes a la costa, estos ambientes de baja profundidad pueden proporcionar refugio a las crías de *C. falciformis*. En el Pacífico mexicano se mencionan otras posibles áreas de crianza de *C. falciformis*, como la costa oriental de Baja California (Smith *et al.*, 2009) y el Golfo de California (Salomón-Aguilar *et al.*, 2009).

Se reconoce que las áreas de reproducción y crianza de tiburones son hábitats críticos, por lo que en México la NOM-029 (SAGARPA, 2007) regula la pesca de

elasmobranquios, y a partir de 2012 se estableció un periodo de veda del 1° de mayo al 30 de junio que protege el principal periodo reproductivo. Si bien está NOM y la veda reproductiva son un aporte favorable en la protección a largo plazo para muchas especies, dadas las décadas de explotación casi irrestrictas de los elasmobranquios en aguas mexicanas, es muy probable que ya se hayan dado restricciones en las poblaciones y cambios en la estructura de tallas entre las especies de menor fecundidad y mayor edad de madurez (Smith *et al.*, 2009). También, se debe mencionar que debido a la reciente aplicación de las medidas de gestión, su eficacia no ha sido evaluada.

Debido a los registros insuficientes para poder identificar una zona como área de crianza de tiburón, y a lo limitado de la información al momento de su formulación, en la NOM-029 aparece un número reducido de zonas de refugio. La ley no incluye a la costa de Oaxaca, pero dada la información presentada en este trabajo y la importancia de sus hábitats costeros para los neonatos y juveniles, se sugiere su inclusión en la regionalización de las áreas de crianza. Los resultados de este trabajo contribuyen al conocimiento del ciclo reproductivo de *C. falciformis* e identifican a la costa de Oaxaca como un área importante para su reproducción en el Pacífico tropical oriental.

AGRADECIMIENTOS

A los pescadores de Oaxaca. Martha Escamilla, Jennyfer Chong, Luis Cruz y colegas del laboratorio de Ictiología y Biología Pesquera de la UMAR por su apoyo en el trabajo de campo. A Oscar Sosa Nishizaki y a los árbitros anónimos por sus sugerencias que ayudaron a mejorar el manuscrito. El trabajo fue financiado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT proyecto 069-2003 y el Gobierno del Estado de Oaxaca-CONAPESCA (2IR0502).

REFERENCIAS

- Alejo-Plata, C., G. Cerdanés & G. González-Medina 2006. La pesca artesanal de tiburón en la Costa Chica de Oaxaca, México, 2000-2003. In: S. Salas, M.A. Cabrera, J. Ramos, D. Flores & J. Sánchez (eds.). Memorias I Conferencia de Pesquerías Costeras en América Latina y el Caribe. Evaluando, Manejando y Balanceando Acciones. Mérida, Yucatán: COATFISH, pp. 22-38.
- Bass, A.J., J.D. Aubrey & N. Kistnasamy. 1973. Sharks of the east coast of southern Africa. The genus *Carcharhinus* (*Carcharhinidae*). Oceanography Re-searching Institute (Durban), Invest. Rep., 33: 168 pp.
- Blackburn, T.M., K.J. Gaston & N. Loder. 1999. Geographic gradients in body size: a classification of Bergmann's rule. *Divers. Distrib.*, 5: 165-174.
- Bonfil, R. 1997. Status of shark resources in the Southern Gulf of Mexico and Caribbean: implications for management. *Fish. Res.*, 29: 101-117.
- Bonfil, R. 2008. The biology and ecology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*. In: M. Camhi, E.K. Pikitch & E.A. Babcock (eds.). *Sharks of the open ocean*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 114-127.
- Bonfil, R., R. Mena & D. de Anda. 1993. Biological parameters of commercially exploited silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the Campeche Bank, Mexico. NOAA Technical Report NMFS. Circular, 115: 73-86.
- Bonfil, R., A. Amorim, C. Anderson, R. Arauz, J. Baum, S.C. Clarke, R.T. Graham, M. González, M. Jolón, P.M. Kyne, P. Mancini, F. Márquez, C. Ruiz & W. Smith. 2009. *Carcharhinus falciformis* In IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en línea: [www.iucnredlist.org].
- Branstetter, S. 1987. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environ. Biol. Fish.*, 19: 161-173.
- Brenes, C.L.A., A. Hernández & J. Campos. 2000. Distribución espacial de las capturas de tiburón en el Océano Pacífico nicaragüense y su relación con algunas variables oceanográficas. *Rev. Biol. Trop.*, 48(2-3): 399-411.
- Castro, J.I. 2009. Observations on the reproductive cycles of some viviparous North American sharks. *Aquacult. Int. J. Ichthyol.*, 15: 205-222.
- Clarck, E. & K. Von Schmidt. 1965. Shark of the central Gulf of coast Florida. *Bull. Mar. Sci.*, 15: 13-83.
- Compagno, L. 1984. FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. *Carcharhiniformes*. FAO Fish. Synop., Roma, 125 pp.
- Cornello, H.H., L.O. Lucifora & A.M. Massa. 2006. Reproduction of the angular angel shark (*Squatina guggenheim*): geographic differences, reproductive cycle, and sexual dimorphism. *ICES J. Mar. Sci.*, 64: 131-140.
- Cruz, A., S.R. Soriano, H. Santana, C.E. Ramírez & J.J. Valdez. 2011. La pesquería de tiburones oceánicos-costeros en los litorales de Colima, Jalisco y Michoacán. *Rev. Biol. Trop.*, 59(2): 655-667.
- Filmater, J.D., L. Dagorn, P.D. Cowley & M. Taquet. 2011. First descriptions of the behavior of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, around drifting fish aggregations.

- gating devices in the Indian Ocean. *Bull. Mar. Sci.*, 87(3): 325-337.
- Galván-Tirado, C., P. Díaz-Jaimes, F.J. García de León, F. Galván-Magaña & M. Uribe-Alcocer. 2013. Historical demography and genetic differentiation inferred from the mitochondrial DNA of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the Pacific Ocean. *Fish. Res.*, 147: 36-46.
- Galván-Tirado, C., F. Galván-Magaña & R.I. Ochoa-Báez. 2015. Reproductive biology of the silky shark *Carcharhinus falciformis* in the southern Mexican Pacific. *JMBA*, 95(3): 561-567.
- Goldman, K.J. & J.A. Musick. 2006. Growth and maturity of salmon sharks (*Lamna ditropis*) in the eastern and western North Pacific, and comments on back-calculation methods. *Fish. Bull.*, 104: 278-292.
- Haddon, M. 2001. Modeling and quantitative methods in fisheries. Chapman and Hall, Florida, 402 pp.
- Hall, N.G., C. Bartron, W. White, T. Dharmadi & I.C. Potter. 2012. Biology of the silky *Carcharhinus falciformis* (Carcharhinidae) in the eastern Indian Ocean, including an approach to estimating age when timing of parturition is not well defined. *J. Fish Biol.*, 80: 1320-1341.
- Hazin, H.V., A. Couto, K. Kihara, K. Otsuka & M. Ishino. 1990. Distribution and abundance of pelagic sharks in the South-Western Equatorial Atlantic. *J. Tokyo Univ. Fish.*, 77: 51-64.
- Heupel, M.R., J.K. Carlson & C.A. Simpfendorfer. 2007. Shark nursery areas: concepts, definition, characterization and assumptions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 337: 287-297.
- Hoyos-Padilla, M., P. Ceballos-Vázquez & F. Galván-Magaña. 2012. Reproductive biology of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) off the west coast of Baja California Sur, Mexico. *Aquacult. Int. J. Ichthyol.*, 18: 1-15.
- Joung, S.J., C.T. Chen, H.H. Lee & K.M. Liu. 2008. Age, growth, and reproduction of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, in northeastern Taiwan waters. *Fish. Res.*, 90: 78-85.
- Kohin, S, R. Arauz, D. Holts & R. Vetter. 2006. Preliminary results: behavior and habitat preferences of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) and a big eye thresher shark (*Alopias superciliosus*) tagged in the Eastern Tropical Pacific. Memoria 1er Seminario-Taller del Estado del Conocimiento de la Condrictiofauna de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad INBIO, Costa Rica, 3 pp.
- Last, P.R. & J.D. Stevens. 1994. Sharks and rays of Australia. CSIRO, Australia, 523 pp.
- Lavin, M.F., J.M. Morales, M.L. Argote, E.D. Barton, R. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Traviña, H.S. Vélez & J. García. 1992. Física del Golfo de Tehuantepec. *Cienc. Des.*, 12: 97-108.
- Liang, J.H., J.C. McWilliams & N. Gruber. 2009. High-frequency response of the ocean to mountain gap winds in the northeastern tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, 114, C12005. doi:10.1029/2009JC005370.
- Liu, K.M., C.T. Chen, T.H. Liao & S.J. Joung. 1999. Age, growth, and reproduction of the pelagic thresher shark *Alopias pelagicus* in the northwestern Pacific. *Copeia*, 1999(1): 68-74.
- Lombardi-Carlson, L.A., E. Cortés, G.R. Parsons & C.A. Mainire. 2003. Latitudinal variation in life-history traits of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) from the eastern Gulf of Mexico. *J. Mar. Freshwater Res.*, 54: 875-883.
- Oshitani, S., S. Nakano & S. Tanaka. 2003. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fish. Sci.*, 69: 456-464.
- Pratt, H.L. Jr. 1979. Reproduction in the blue shark, *Prionace glauca*. *Fish. Bull.*, 77: 445-469.
- Pratt, H. & J. Casey. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth parameters. NOAA. Technical Reports, U.S. Nat. Mar. Fisher. Serv., 90: 97-109.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006. Pesca responsable de tiburones y rayas: Especificaciones para su aprovechamiento. México: Diario Oficial de la Federación. [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4962277&fecha=14/02/2007]. Revisado: 10 Enero 2016.
- Salomón-Aguilar, C.A., C.J. Villavicencio-Garayzar & H. Reyes-Bonilla. 2009. Zonas y temporadas de reproducción y crianza de tiburones en el Golfo de California: estrategia para su conservación y manejo pesquero. *Cienc. Mar.*, 35(4): 369-388.
- Sánchez-de Ita, J.A., C. Quiñonez-Velázquez, F. Galván-Magaña, N. Bocanegra-Castillo & R. Félix-Uraga. 2011. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the west coast of Baja California Sur, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.*, 27(1): 20-24.
- Smith, W.D., J.J. Bizzarro & G.M. Cailliet. 2009. La pesca artesanal de elasmobranquios en la costa oriental de Baja California, México: características y consideraciones de manejo. *Cienc. Mar.*, 35: 209-236.
- Soriano, V.S., D.S. Acal, L. Castillo-Géniz, N.G. Vázquez & E.S. Santiago. 2006. Tiburón del Golfo de Tehuantepec. In: S.F. Arreguín, M.J. Meléndez, M.I. Gómez-Humaran, S.R. Solana & D.C. Rangel (eds.). Sustentabilidad y pesca responsable en México:

- evaluación y manejo 1990-2000. INP, SAGARPA, México, pp. 325-364.
- Springer, S. 1960. Natural history of the sandbar shark, *Eulamia milberti*. Fish. Bull., 61: 1-38.
- Stevens, J.D. & K.J. McLoughling. 1991. Distribution, size and sex composition, reproductive biology and diet of sharks from northern Australia. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 42(2): 151-199.
- Strasburg, D.W. 1958. Distribution, abundance, and habits of pelagic sharks in the central Pacific Ocean. Fish. Bull., 58: 335-361.
- Villavicencio-Garayzar, C. 1996. Reproducción de *Carcharhinus obscurus* (Pisces: Carcharhinidae), en el Pacífico nororiental. Rev. Biol. Trop., 44(1): 287-289.
- Walker, T.I. 2005. Reproduction in fisheries science. In: W.C. Hamlett. (ed.). Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: sharks, batoids and chimaeras. Science Publisher, Enfield, 562 pp.
- Watson, J., T. Essington, C. Lennert-Cody & M. Hall. 2009. Trade-offs in the design of fishery closures: management of silky shark by catch in the Eastern Pacific Ocean tuna fishery. Conserv. Biol., 23(3): 626-635.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

Received: 9 April 2015; Accepted: 29 March 2016