

Aspectos reproductivos y área de crianza del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, en la costa de Michoacán, México

Vicente Anislado-Tolentino*

De julio de 1992 a noviembre de 2004 se realizaron muestreos *in situ* y se obtuvieron datos de 1 525 tiburones martillo en 18 caladeros pesqueros en la costa de Michoacán, 84% eran neonatos. Se propone la función $LT = 3.05 + 2.2 LA$ (LT = longitud total, LA = longitud alternativa) para recuperar datos de organismos descabezados. La proporción sexual en embriones fue de 0.8:1 machos:hembras. La longitud de nacimiento se estimó en 53 cm LT . Las hembras maduran a los 201 cm, mientras que los machos a los 169 cm de LT . La fecundidad promedio fue de 30 crías por parto y mostró una relación directamente proporcional con la longitud de la madre. El periodo de gestación es anual, la temporada de partos es de mayo a julio y el apareamiento, de julio a septiembre. De acuerdo con la presencia sistemática de crías y hembras preñadas, y con base en un análisis clúster se delimitó un área de crianza que tiene como centro la pluma del río Nexpa. Éste es el primer trabajo que delimita de manera estadística un área de crianza para *S. lewini*.

Palabras clave: Madurez, fecundidad, elasmobranchios, río Nexpa.

Reproductive aspects and nursery area of scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* along to Michoacan Coast, Mexico

From July 1992 to November 2004, 1 525 data of scalloped hammerheads were collected *in situ* in 18 fishing grounds along the coast of Michoacán, 84% of the organisms were neonates. A function to estimate the total length of organisms landed beheaded is provided: $LT = 3.05 + 2.2 LA$ (LT = total length, LA = alternative length). Sexual proportion of embryos was 0.8:1 males:females. Estimated birth size was 53 cm LT . The estimated length at maturity was 201 cm for females and 169 cm for males. The mean fecundity was 30 embryos with a positive correlation with maternal size. The gestation period was annual and the birth season occurs from May to July, whereas the mating season from July to September. The systematic occurrence of neonates and pregnant females and a cluster analysis demonstrated that a nursery grounds exists at the center of the plume of Nexpa River. This study is the first to delimit a nursery ground for *S. lewini* based on statistical analysis.

Keys words: Maturity, fecundity, elasmobranch, Nexpa River.

Introducción

El tiburón martillo común *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith 1834) es una especie circumtropical que en la costa americana del océano Pacífico se distribuye desde California, EUA, hasta el Ecuador y posiblemente hasta la costa norte de Perú (Compagno *et al.* 2005). La especie es vivípara placentaria, con fecundidad moderada (15 a 40 crías). Son sus áreas de crianza las zonas someras de alta productividad, tales como bahías, pastizales marinos, estuarios, zonas aledañas a las bocanarras de ríos y manglares. Estas zonas

ofrecen a las crías de tiburones (neonatos a un año) una abundante fuente de alimentos y refugio, al tiempo que minimizan la depredación y la competencia intra e inter-específica (Springer 1967, Castro 1993). Algunas veces, la delimitación de las áreas de crianza se ha hecho solamente a través de la presencia de neonatos y hembras preñadas en un corto periodo de estudio, lo que deriva en que las políticas de protección no sean las adecuadas (Beck *et al.* 2001, Heupel *et al.* 2007).

Sphyrna lewini es considerada como una especie vulnerable a la sobrepesca (Castro *et al.* 1999, Baum *et al.* 2007); sin embargo, ocupa el primer lugar en biomasa y número en las capturas de elasmobranchios, tanto en la costa central del Pacífico mexicano (Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero), como en el Golfo de Tehuantepec

* Sociedad Mexicana de Peces Cartilaginosos A. C. Calle Pino Mz.7 Lt. 36, Col. Consejo Agrarista Mexicano, Iztapalapa 09760, Ciudad de México y Universidad Tecnológica de México-Campus Querétaro. Av. 5 de Febrero Núm. 1412, Col. San Pablo, 76130 Querétaro, Qro. anislado@gmail.com

(Applegate *et al.* 1979, Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza 2001, Alejo-Plata *et al.* 2007). En Sonora y Sinaloa, esta especie ocupa el tercer lugar en las capturas (Hernández-Carvallo 1965, Anislado-Tolentino 2008). La mayoría de las capturas regionales de *S. lewini* se compone de neonatos y adultos de ambos sexos (Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza 2001).

Existen diversos estudios sobre algunos aspectos reproductivos de *S. lewini* en diferentes partes del mundo, p. ej.: Atlántico Norte (Holden 1974), sureste de África (Bass *et al.* 1975), Golfo de México (Dodrill 1977, Branstetter 1987, Castro 1993), noreste de Taiwán (Chen *et al.* 1988), Australia (Stevens y Lyle 1989, Harry *et al.* 2011), Brasil (Hazin *et al.* 2001), Hawaii (Crow *et al.* 1996), Indonesia (White *et al.* 2008) y México (Alejo-Plata *et al.* 2007, Torres-Huerta *et al.* 2008, Bejarano-Álvarez *et al.* 2011). Sin embargo, son pocos los estudios donde se han llegado a determinar de manera fehaciente las áreas de crianza, debido a las dificultades técnicas que esto involucra, entre las que se incluye la necesidad de periodos de muestreo de al menos cinco años continuos, que deben ser *in situ*, es decir, llevarse a cabo a bordo de las embarcaciones pesqueras con el fin de registrar correctamente el origen de los organismos, sobre todo los de menores tallas y corroborar con la sucesión de especies en esta área con la misma función (Beck *et al.* 2001, Heupel *et al.* 2007). El objetivo de este estudio fue describir aspectos reproductivos, así como determinar la existencia de un área de crianza para *S. lewini* en la costa del estado de Michoacán.

Materiales y métodos

De julio de 1992 a noviembre de 2004 (excepto 1999), y de manera irregular, se realizaron recolectas *in situ* de datos de los tiburones martillo *S. lewini*, a bordo de embarcaciones de las pesquerías ribereñas en 18 caladeros (18° 02' N; 102° 38' 05" O y 18° 26' 43" N; 103° 30' 17" O, Fig. 1) a lo largo de la costa de Michoacán. Los artes de pesca utilizados de manera dirigida para este estudio fueron dos redes agalleras de fondo, con luz de malla de 8.9 y 15.2 cm, respectivamente, y 700 m de longitud en ambos casos, simultáneamente con cuatro palangres de fondo

cada uno con 300 anzuelos variados (tipo circular atunero del número 12/0 invertido y tipo J del núm. 4 invertido). En combinaciones sin orden específico y con duración de tiempo efectivo de pesca de 12 a 16 horas cada lance. Las carnadas utilizadas incluyeron cuatete, *Occidentarius platypogon* (Günther 1864); ojetón, *Selar crumenophthalmus* (Bloch 1973); culebra, *Ophichthus zophochir* Jordan y Gilbert 1882; culebra pinta, *Ophichthus triserialis* (Kaup 1856); barrilete negro, *Euthynnus lineatus* (Kishinouye 1920); y katsu, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus 1758). En cada campaña con duración de un mes se realizó un total de 54 lances de pesca. La distribución de longitudes en las capturas acumuladas por sexo para cada arte de pesca y entre los artes fue comparada mediante la prueba no paramétrica de Mann-Withney (Siegel y Castellan 1995).

De cada ejemplar se registró: la longitud total (LT), medida en posición natural de la punta de la cabeza a la punta del lóbulo superior de la aleta caudal; la longitud alternativa (LA), medida del borde anterior del origen de la primera aleta dorsal a la muesca precaudal; para los machos, la longitud externa del cláspere (LC) que va de la inserción entre la aleta pélvica y el cláspere hasta la punta del cláspere; para las hembras se tomó nota de la condición uterina y el número de embriones (incluidos los restos de placentas y cordones umbilicales). Es importante resaltar que los conteos de organismos se realizaron *in situ* y la toma de biometrías, al desembarcar, debido a la logística de captura que dificulta realizar mediciones precisas.

Los especímenes fueron clasificados como adultos o juveniles, de acuerdo con el criterio de la escala de madurez propuesta por Stehmann (2002), modificada (Tabla 1). Los ejemplares fueron considerados maduros a partir del estadio 3 y en ellos se hizo una revisión para buscar marcas de apareamiento antiguas o recientes. La proporción sexual fue analizada por caladeros y por estadios de madurez, para lo que se utilizó la prueba de χ^2 con la corrección de Yates para comprobar si había diferencias significativas entre la proporción observada con el teórico 1:1 hembras:machos (Zar 1999). En el presente estudio se hicieron observaciones *in situ* que permitieron separar a las crías abortadas o sacadas de la madre, de aquellas que ya eran de vida libre.

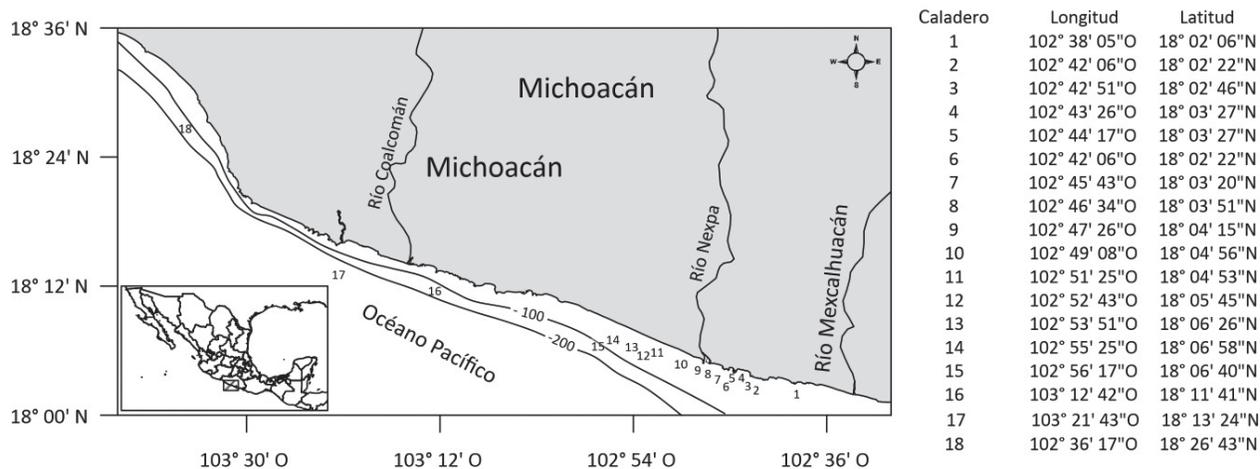


Fig. 1. Área de estudio (los números corresponden a los caladeros).

Tabla 1

Escala de madurez para elasmobranquios (T: testículos; C: cláspers; O: ovarios; U: útero; E: embriones) modificado de Stehmann (2002)

Sexo	Escala de madurez	Descripción del estado de madurez
Macho	1. Inmaduro	T: filiformes; C: pequeños y flexibles
	2. Madurando	T: amplios; C: flexibles
	3. Maduro	T: grandes y desarrollados; C: Completamente calcificados
	4. Activo	Vesícula seminal con semen
Hembra	1. Inmaduro	O: pequeños; óvulos indiferenciados; U: filiforme
	2. Madurando	O: grandes; óvulos diferenciados; U: más amplio
	3. Maduro	O: grandes; óvulos grandes de tamaño similar
	4. Preñez inicial	O: llenos de grandes óvulos segmentados y amarillos
	5. Preñez media	E: en los primeros estados de desarrollo
	6. Preñez terminal	E: totalmente formados
	7. Descanso	O: estado similar a 2; U: vacío pero distendido

Las crías de vida libre se clasificaron en cuatro estadios, de acuerdo con el nivel de sanación de la inserción umbilical: 1) Abierta, un día de vida; 2) Parcialmente sana, cinco días de vida; 3) Inserción umbilical cicatrizada, 14 días de vida; 4) Totalmente sanada (individuos menores de 80 cm), hasta un año de vida (Duncan y Holland

2006, Marie *et al.* 2017), las tres primeras etapas se consideraron como de los “recién nacidos”.

Se determinó la longitud de primera madurez considerándola como la longitud a la que 50% de las hembras estaban maduras (PM = LT), de acuerdo con la relación logística propuesta por Walker (2005):

$$PM_i = [1 + e^{-\ln 19[(LT_i - LT_{50})(LT_{95} - LT_{50})^{-1}}]^{-1} \quad \text{Ec. 1}$$

Para los machos, la LT_{50} fue calculada mediante el modelo logístico propuesto por White *et al.* (2008) utilizando la longitud del cláspers (LC):

$$LC = b + \{(a + b) [1 + e^{-\ln 19[(LT_i - LT_{50})(LT_{95} - LT_{50})^{-1}}]^{-1}\} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: a es la longitud máxima estimada del cláspers y b es la longitud mínima estimada del cláspers. El ajuste para ambas curvas fue realizado por el método de máxima verosimilitud.

La fecundidad fue estimada con base en el número de crías encontradas en el útero. Asimismo, con base en las propuestas de que existe una relación lineal entre el número de crías y la longitud de la madre se determinó dicha correlación (Conrath y Musick 2002, Jones y Ugland 2001, Walker 2005).

Las épocas de nacimiento y apareamiento fueron determinadas mediante la captura por unidad de esfuerzo (CPUE expresada como tiburones capturados por viaje escalando las cifras al

multiplicarlas por 100) mensual acumulada para cada estado de madurez, como un valor estandarizado de la abundancia de los grupos: neonatos, inmaduros, maduros y hembras preñadas.

Para estimar el tiempo de gestación se hizo inferencia en las observaciones de Castro (2009) sobre el desarrollo mensual de los ovocitos (diámetro máximo) y de los embriones.

Para identificar el área de crianza se validaron primordialmente dos de los tres criterios propuestos por Heupel *et al.* (2007): 1) el área o hábitat tiene un uso periódico a lo largo de los años y, 2) es más probable encontrar a los tiburones en el área de crianza que en otros lugares. El primer criterio fue analizado mediante una serie de tiempo con promedio móvil centrado a dos periodos (Meyer y Kruger 1998) aplicado a las hembras preñadas y los neonatos de *S. lewini*. Para validar el segundo criterio se usó el análisis de clúster para las CPUE mediante similitudes de Bray-Curtis con amalgamamiento de promedios pareados no ponderados (UPGMA, por sus siglas en inglés) en procedimiento dual aleatorizado para determinar la robustez de los grupos que forma el clúster (Kovach 2007) entre los caladeros y los estados de madurez.

Otro indicador utilizado para reforzar la identificación de un área de crianza, fue revisar la presencia de hembras preñadas a término de otras especies de elasmobranchios en las mismas áreas de crianza, ya que existen evidencias que señalan que las especies de elasmobranchios visitan de manera diferenciada en tiempo estos hábitats (Parker Jr y Baile 1979, Simpfendorfer y Milward 1993, Carlson y Brusher 1999), así que dentro de las capturas realizadas en este trabajo se contabilizaron sólo las hembras preñadas a término de: tiburón volador *Carcharhinus limbatus* (Müller y Henle 1839), cazón bironche *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert 1882) y raya arenera *Hypanus longus* (Garman 1880), especies consideradas por Madrid y Sánchez (1997) como de los elasmobranchios más conspicuos en las pesquerías que influyen en la región, las capturas fueron expresadas de manera mensual como CPUE (individuos capturados por viaje por 100).

La categoría de área de crianza primaria o secundaria (Bass 1978) fue identificada por la ocurrencia de hembras preñadas y neonatos con o sin presencia de los otros estadios de madurez; si

únicamente se encuentran organismos neonatos y hembras preñadas se le considera área de crianza primaria, si, por el contrario se encuentran individuos de mayor tamaño en áreas de crianza buscando alimento, llegando incluso al canibalismo de congéneres más jóvenes, se considera entonces área de crianza secundaria. Ya que la depredación de los neonatos puede ser un evento importante en las áreas de crianza (Heupel y Hueter 2002), se revisaron los estómagos de algunos individuos capturados en las zonas de captura de crías en búsqueda de evidencias de canibalismo, agrupándolos de manera arbitraria en: crías de 45 a 60 cm de LT, hembras o machos de LT > 60 a 110 cm, hembras o machos > 110 a 200 cm y en hembras o machos mayores de 200 cm debido a la rapidez del procesamiento de las capturas.

Resultados

Como resultado de las condiciones de la captura, en algunos casos los tiburones fueron desembarcados sin cabeza; para estimar la longitud total (LT) a partir de la longitud alternativa (LA) se utilizó la función obtenida de los ejemplares que llegaron completos: $LT = 3.05 + 2.2 LA$ ($r^2 = 0.99$; $n = 120$; $DS = 6.3$).

De 1 525 tiburones capturados, 957 fueron hembras y 568 machos; 1 288 fueron recién nacidos (Tabla 2). Las hembras de etapas 4 y 5 de madurez (gestación temprana e intermedia) no fueron observadas en las capturas. La distribución de frecuencia de longitudes no presentó diferencias entre sexos separados para cada arte de pesca (red 8.9 cm, $p = 0.71$; red 15.2, $p = 0.15$; palangre $p = 0.3$); por otro lado, las redes entre sí no presentaron diferencias significativas ($p = 0.8$), mientras que el palangre mostró una marcada diferencia en las longitudes capturadas con respecto de ambas redes ($p < 0.05$).

Tabla 2

Abundancia de los estados de madurez de tiburones martillo capturados durante un año tipo a partir de las capturas de julio de 1992 a noviembre de 2004 a lo largo de la costa de Michoacán

Mes	Recién nacidos	Juveniles	Maduros	Hembras preñadas
enero	3	1	0	0
febrero	2	0	0	0
marzo	0	0	0	0
abril	12	4	0	5
mayo	389	8	0	15
junio	548	17	2	45
julio	288	26	15	15
agosto	30	24	24	2
septiembre	4	6	19	1
octubre	2	7	4	13
noviembre	6	1	0	0
diciembre	4	1	0	0

Los tiburones capturados con redes agalleras representaron 71% de la muestra (n = 1 087), con un intervalo de 44 a 260 cm LT, destacando las longitudes de 45 a 55 cm de LT (Fig. 2). Con los palangres se capturaron ejemplares desde 44 hasta 335 cm de LT, acumulando 29% de los ejemplares (n = 438).

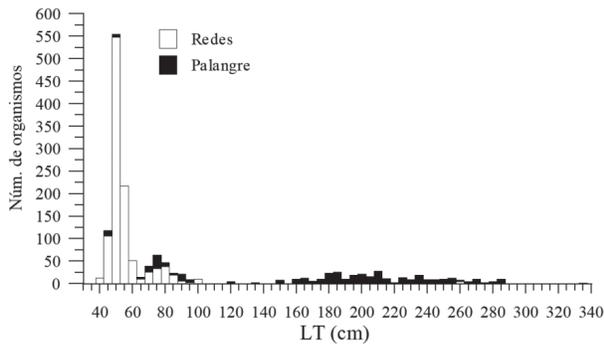


Fig. 2. Distribución de las frecuencias de longitud de *Sphyrna lewini* capturadas con distintas artes de pesca a lo largo de la costa de Michoacán.

La proporción sexual observada en los embriones de 79 hembras (0.8:1 en promedio) no presentó diferencias significativas con la proporción teórica 1:1 (X_{yates} 0.8 a 1.2). Sin embargo, la proporción sexual de los recién nacidos mostró diferencias significativas durante los meses de mayor abundancia de estos (mayo a julio), mientras que se observaron diferencias signifi-

tivas respecto a la proporción sexual teórica 1:1 en los tiburones inmaduros durante septiembre (6:0 $X_{yates}^2 = 4.2$) y en los adultos durante julio (6:1 $X_{yates}^2 = 5.5$) (Tabla 3).

Tabla 3

Proporciones sexuales Macho:Hembra de manera mensual para el tiburón martillo a lo largo de la costa michoacana. En negritas los valores no significativos. El asterisco indica donde no fue posible aplicar la prueba estadística

Meses	Neonatos	x^2	Inmaduros	x^2	Maduros	x^2
enero	0:2	0.8	1:0	*		
febrero	2:0	0.5				
marzo	0.5:1	0.0	1:0	0.13		
abril	1.2:1	0.0	0.4:1	0.6		
mayo	0.7:1	299.2	0.38:1	1.5		
junio	0.8:1	10.6	0.5:1	1.4	1:1	0.5
julio	0.5:1	27.9	0.5:1	1.7	6:1	5.1
agosto	0.7:1	0.5	2.5:1	3.0	0.7:1	0.8
septiembre	2:0	0.3	6:0	4.2	0.9:1	0
octubre	0:1	0.0	1:1	0.2	1:1	0.15
noviembre	1:1	0.6	2:0	0.5		
diciembre	2:1	1.5	1:0	0		

Las proporciones sexuales de los recién nacidos muestran diferencias significativas en los caladeros 9 y 11 (Tabla 4), donde fue capturada la mayoría de las crías hembra. En el caso de los individuos inmaduros, las diferencias significativas se presentaron en el caladero 1 con mayor abundancia de machos; en los organismos maduros no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los cuatro caladeros donde se registró su captura.

Tabla 4

Proporciones sexuales Macho: Hembra por caladero para el tiburón martillo a lo largo de la costa michoacana. Valores no significativos en negrita. El asterisco indica donde no fue posible aplicar la prueba estadística

Caladero	Neonatos	χ^2	Inmaduros	χ^2	Maduros	χ^2
1	0.7:1	0	6:1	4.17		
2	0.9:1	0.03	3:1	0.25		
3	1.4:1	0.52	1:0	0		
4	1.1:1	0	1:0	0		
5	1.5:1	0.83	0:1	0		
6	1.1:1	0	0:1	0		
7	0.8:1	1.09	3:1	0.25		
8	0.8:1	1.95	4:0	2.25	1:1	0
9	0.7:1	16.11	4:1	2.5	1:1	0
10	0.8:1	0.83	0.5:1	0		
11	0.6:1	4.49	0.8:1	0		
12	0.6:1	3.13	1:0:1	0		
13	1.1:1	0.02				
14	1.1:1	0				
15	0.7:1	0.08				
16	1.7:1	0.13				
17	1.5:1	0.1			1:1	0
18	1:1	0.1	0.1:1	37	1:1	0

La longitud de nacimiento estimada presentó un intervalo de 44.6 a 56.7 cm de LT (promedio = 53 cm, DS = 2.9, n = 203).

Para las hembras, la longitud mínima observada de preñez fue de 188 cm LT y $LT_{50} = 201 \pm 4$ cm (Fig. 3a); para los machos, la longitud mínima de madurez observada fue de 174 cm y $LT_{50} = 169 \pm 20$ cm (Fig. 3b).

La fecundidad fue analizada en 79 hembras a las que se les contabilizó el número de embriones, siendo todos de longitud mayor a 43 cm LT. El intervalo de longitud de las hembras preñadas fue de 188 a 335 cm (promedio = 205 cm; DS = 27 cm) que tuvieron de 13 a 41 embriones (promedio = 31 embriones; DS = 4 embriones) con una relación positiva entre el tamaño de la madre (LTM) y del número de embriones (F). Para el análisis de residuos, una hembra de 188 cm con 13 embriones fue excluida por tener un comportamiento extremo en la tendencia de los datos (Fig. 4).

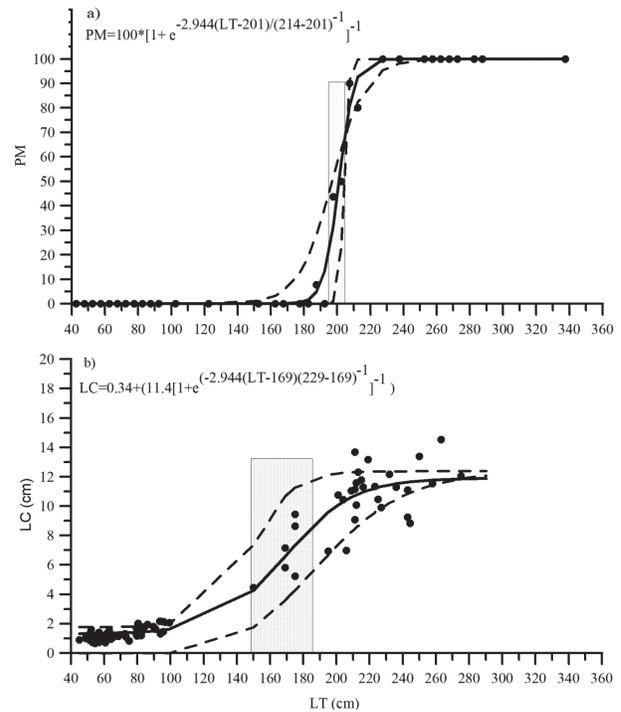


Fig. 3. Curvas de madurez para: a) hembras y b) machos de *Sphyrna lewini* a lo largo de la costa de Michoacán. PM es la proporción madura; LT es longitud total; LC es longitud de cláspes, las líneas punteadas son los límites de confianza de los modelos, y los rectángulos sombreados el intervalo de talla de madurez sexual.

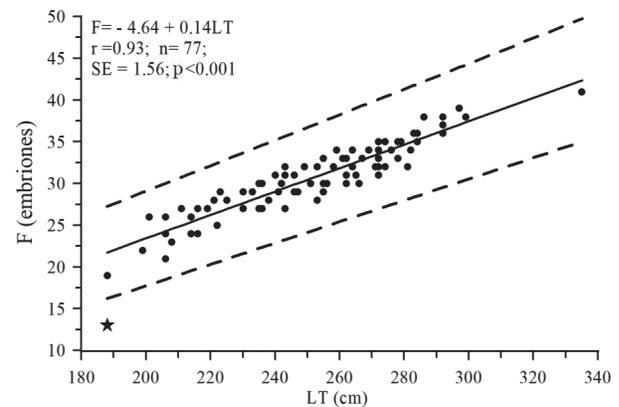


Fig. 4. Relación entre la fecundidad y la longitud total de las madres (LT) de *Sphyrna lewini* a lo largo de la costa de Michoacán. La estrella indica un dato no utilizado en la regresión, las líneas punteadas son los límites de confianza del modelo.

Los valores más altos de CPUE de neonatos y hembras preñadas son los de los meses de mayo a julio, indicando la temporada de expulsión de crías (nacimientos), mientras que las CPUE

Tabla 5
Resumen de los aspectos reproductivos para el tiburón martillo *Sphyrna lewini*. (H: hembras, M: machos, A: ambos sexos, SD: Sin dato). *Longitud total extendida (LTE)

Longitud de nacimiento (cm)	Longitud de madurez (cm)	Fecundidad	Apareamiento	Gestación (meses)	Partos	Localidad	Autor
40-50 (A)	SD	15-31	SD	SD	Todo el año con un pico en verano	Hawái, USA	Clarke (1971)
38 (A)	240 (H); 180 (M)	SD	SD	12	SD	Atlántico	Holden (1974)
45 (A)	212 (H); 140 (M)	SD	SD	SD	verano	KwaZulu-Natal, Sud-África	Bass <i>et al.</i> (1975)
38.2 (A)	221 (H); 140 (M)	SD	SD	SD	SD	Florida, USA	Dodrill (1977)
38 - 45 (A)	180 (M)	SD	SD	SD	verano	Florida, USA	Castro (1993)
49 (A)	250 (H); 180 (M)	30	SD	12	SD	Golfo de México, USA	Branstetter (1987)
SD	217 (A)	SD	SD	SD	SD	Golfo de California, México	Klimley (1987)
47 (A)	210 (H); 198 (M)	12-38	julio a octubre	10	mayo a julio	Taiwán, China	Chen <i>et al.</i> (1988)
45-50 (A)	200(H); 140 (M)	13-23	SD	9	verano	Noreste de Australia	Stevens y Lyle (1989)
38 - 45 (A)	274 (H); 140 (M)	20	SD	SD	SD	Florida, USA	Castro (1993)
SD	200 (H)	13 - 23	SD	SD	SD	Australia	Last y Stevens (1994)
44.7 (M)	309 (H); 213 (M)	31	SD	SD	SD	Hawái, USA	Crow <i>et al.</i> (1996)
SD	220 (H); 180 (M)	4 - 42	SD	SD	SD	Golfo de México, Mexico	Castillo-Géniz y Márquez-Farías (1996 ³)
37-53 (A)	SD	18-22	SD	SD	verano	Senegal, África	Capapé <i>et al.</i> (1998)
45 (H); 46 (M)	149 (H)	SD	SD	SD	SD	Noreste de Brasil	Lessa <i>et al.</i> (1998)
41 (H); 43 (M)	232 (H); 173 (M)	19 - 32	SD -	11	mayo a septiembre	Golfo de California, México	Torres-Huerta (1999)
>38 (A)	240 (H); 180 (M)	2-21	SD	10	verano	Noreste de Brasil	Hazin <i>et al.</i> (2001)
36 (H); 37 (M)	215 (H); 176 (M)	6 - 43	SD	10 - 12	mayo a julio	Golfo de Tehuantepec, México	Campuzano-Caballero (2002)
35 to 59 (A)	169 (H); 154 (M)	10 - 43	SD	12	mayo a julio	Golfo de Tehuantepec, México	Soriano-Velásquez <i>et al.</i> (2006)
45 (A)	SD	SD	SD	SD	julio a agosto	Oaxaca, México	Alejo-Plata <i>et al.</i> (2007)
41-53 (A)	232 (H); 16 (M)	25 - 32	SD	12	mayo a julio	Golfo de California, México	Torres-Huerta <i>et al.</i> (2008)
39-57 (A)	228.5 (H); 175.6 (M, LT)	14 - 41 (media 25)	SD	SD	octubre a noviembre	Indonesia	White <i>et al.</i> (2008)
41-51 (A)	220 (H); 180 (M)	14 - 40	SD	10	julio a agosto	Golfo de Tehuantepec, México	Bejarano-Álvarez <i>et al.</i> (2011)
45.5-56.3 (A)	147 (A) aguas tropicales 204 (A) aguas templadas	SD	SD	SD	SD	Costa este de Australia	*Harry <i>et al.</i> (2011)
47.8 (H); 44.7 (M)	210 (H); 169 (M)	13 - 42	julio a septiembre	10	mayo a julio	Michoacán, México	Presente estudio

3. Castillo-Géniz JL., F. Márquez-Farías. 1996. Evaluación de la pesquería de tiburón del Golfo de México. Informe final de proyecto de investigación. SEMARNAP. INP. CONACYT (116002-5-1314N-9206).

mayores para los adultos de ambos sexos fueron las de julio a septiembre (Fig. 5), lo que coincide con la época en la que los machos mostraron hematomas en los cláspers y las hembras mordeduras recientes en aletas pectorales y dorso, así como hematomas en la cloaca, que determinan la temporada de apareamiento. Todas las hembras muestreadas en este estudio tenían embriones a término y en los ovarios óvulos de un diámetro máximo de 4.7 cm (DS = 0.75 cm, n = 79); las hembras con marcas de apareamiento eran más evidentes en agosto y septiembre. No se registraron hembras con óvulos menores a los 4.5 cm de diámetro máximo. Se considera que al ser concurrente la época de partos y de apareamientos, el periodo de gestación es de un año.

Por medio del análisis de la serie de tiempo (Fig. 6) se determinó que hay, de manera sistemática, un pico interanual de abundancias de neonatos y hembras preñadas en el área de estudio; esto valida el supuesto de un acceso re-

petitivo al área por estos grupos ontogénicos de *S. lewini* y, por tanto, reafirma la existencia de un área de crianza y alumbramiento.

Con el análisis de agrupación clúster de dos vías (Fig. 7), se delimitaron cuatro áreas de importancia, así como tres grupos de estadios de madurez. La interacción más importante se encontró en el caladero 9 (cercanías de la bocanera del río Nexpa) con los valores de robustez más altos para los neonatos (1.5), las hembras preñadas (0.09) y los juveniles (0.28), lo cual indica que este caladero es el centro de un área de crianza secundaria (por la presencia de todos los grupos ontogénicos). En este mismo orden de ideas, otros de los mayores valores de robustez para los neonatos (0.24 a 0.36) corresponden a los caladeros 8 a 13, lo que da un polígono delimitado por una línea de costa que va de 18° 03' 51" N 102° 46' 34" O a los 18° 06' 26" N 102° 53' 51" O, que representa la zona total de crianza en el área de estudio.

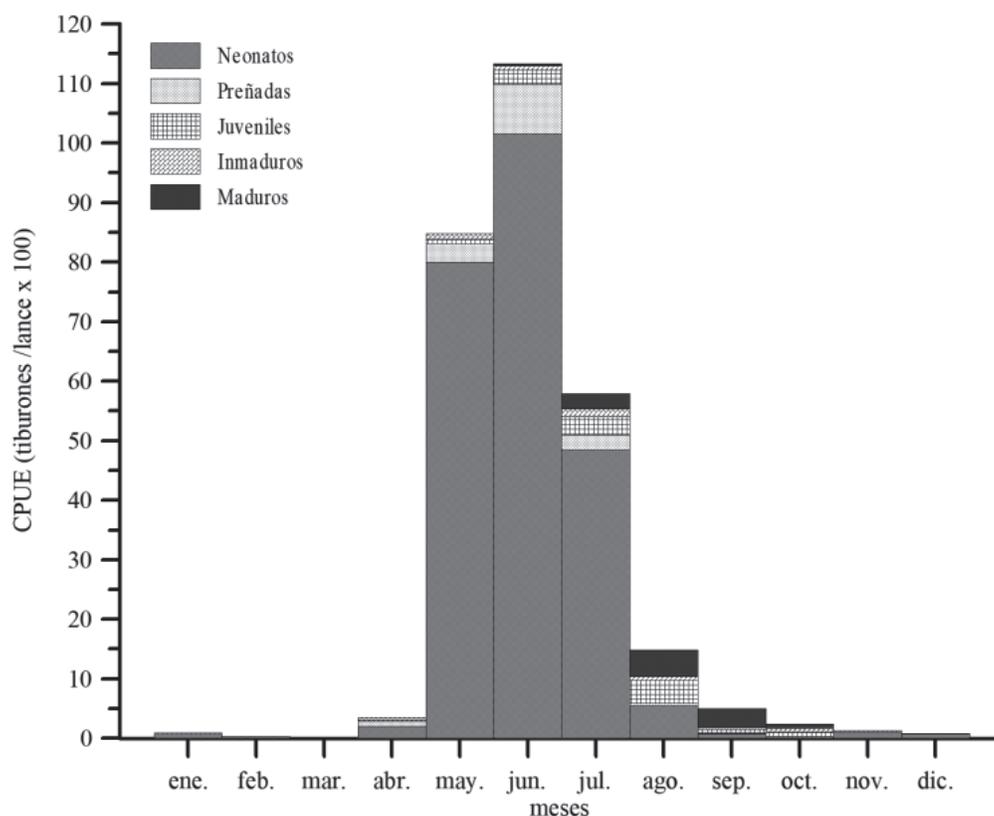


Fig. 5. Distribución acumulada de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) mensual para los diferentes estados de madurez de *Sphyrna lewini* a lo largo de la costa de Michoacán.

Las capturas de las hembras preñadas a término de las especies de elasmobranquios seleccionadas como indicadores de una concurrencia diferencial en tiempo del área de crianza se compusieron de: 230 hembras preñadas a término de tiburón volador, 280 cazón bironche y 379 de raya arenera. Para el tiburón volador se observó el máximo pico de abundancia al mes siguiente de *S. lewini*; mientras que para el cazón bironche en menor proporción con mayor ocurrencia del lugar durante los meses de junio a agosto; por último, se observa que la raya arenera lo habita de noviembre a enero (Fig. 8).

Se revisaron 146 estómagos distribuidos en 66 crías de $LT < 60$ cm; 28 hembras y 22 machos de $LT > 60$ a 110 cm; 10 hembras y siete machos de $LT > 110$ a 200 cm; y en 25 hembras y cinco machos de $LT > 200$ cm. Al buscar exclusivamente restos de la misma especie se constató canibalismo en las cercanías del caladero 9, encontrando restos de individuos de 40 a 100 cm LT en dos hembras y cinco machos de $LT > 110$ a 200 cm, así como en cinco hembras y un macho de más de 200 cm LT. Lo anterior permitió categorizar al área de crianza como secundaria (*sensu lato* Bass 1978).

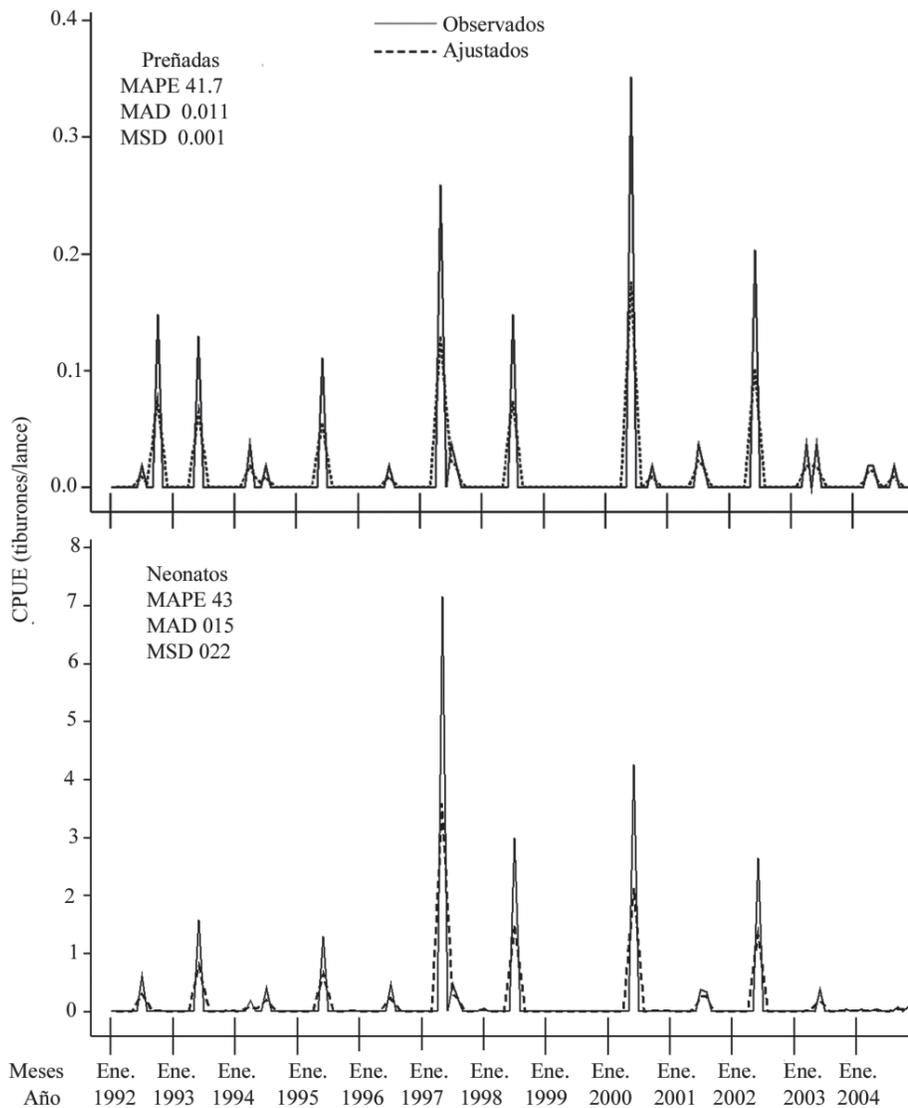


Fig. 6. Serie temporal con media móvil de dos periodos para el CPUE de *Sphyrna lewini* en la costa de Michoacán. PPAE promedio porcentual absoluto del error; DAP Desviación Absoluta promedio; PRC Promedio de los Residuos Cuadrados.

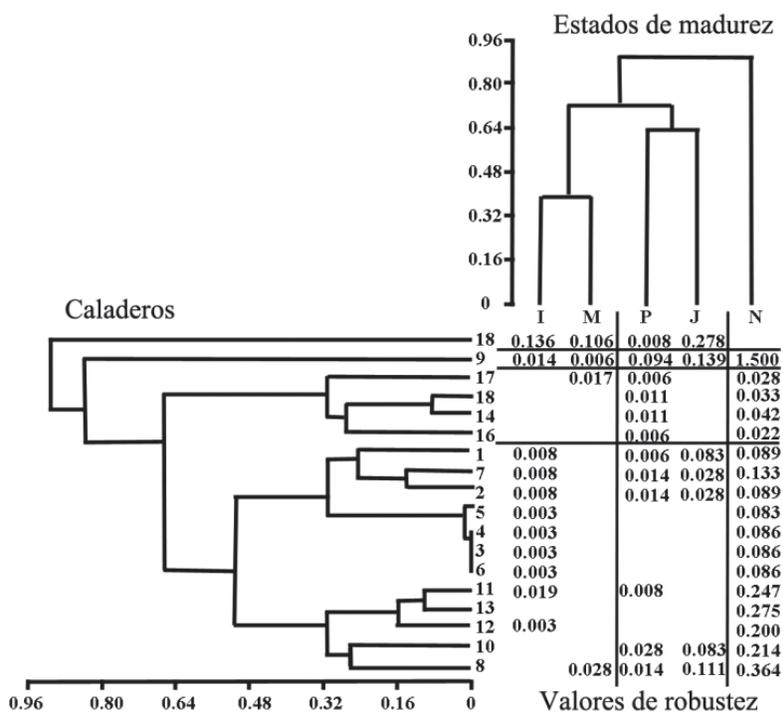


Fig. 7. Dendrogramas del análisis clúster (UPGMA) para el CPUE con las distancias por Bray-Curtis en procedimiento dual aleatorizado para determinar el valor de robustez de los grupos para *Sphyrna lewini* en la costa de Michoacán. I) Inmaduros; M) Maduros; P) Preñadas; J) Juveniles y N) Neonatos.

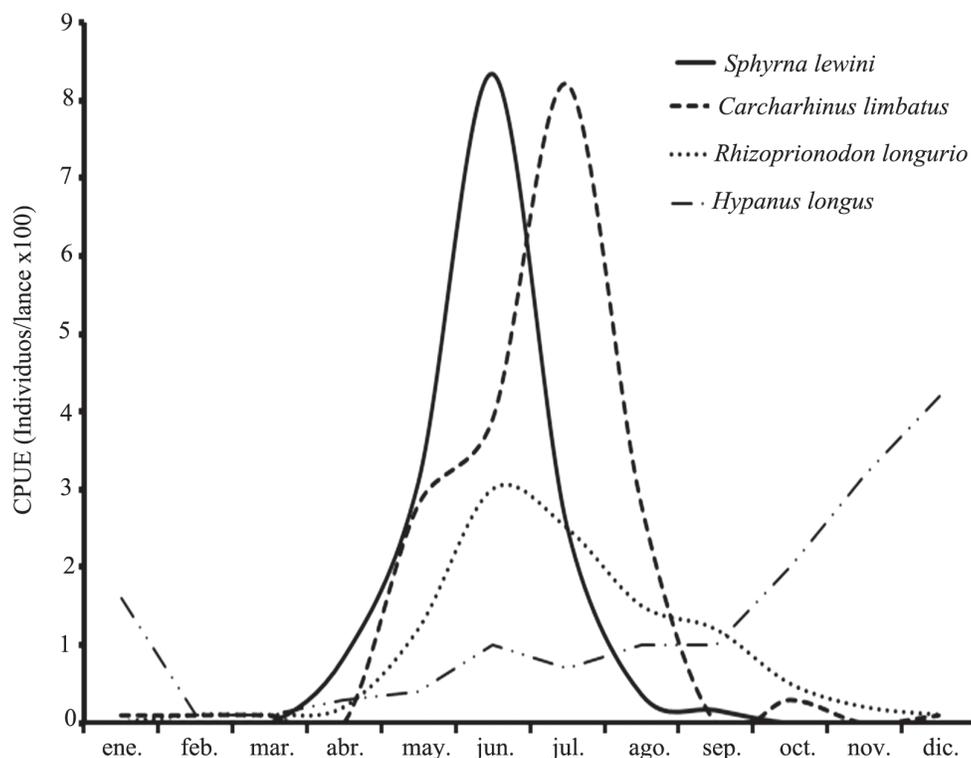


Fig. 8. Distribución acumulada de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) para las hembras preñadas de *Sphyrna lewini*, *Carcharhinus limbatus*, *Rhizoprionodon longurio*, e *Hypanus longus* a lo largo de la costa de Michoacán.

Discusión

La distribución de las frecuencias de tallas capturadas por los artes de pesca es el reflejo de lo que hay a lo largo del Pacífico mexicano (DOF 2007). Con las capturas se determinó que las redes de enmalle son selectivas mayormente de tiburones neonatos y juveniles, que se categorizan comercialmente como cazón, y que alcanzan precios más altos debido a que su carne es más blanca que la de los adultos. Por otro lado, el palangre es el arte que captura organismos de mayor tamaño, lo que pone de manifiesto la necesidad de estudios sobre tecnología de capturas que puedan minimizar las capturas de juveniles en los palangres reduciendo, por ende, la captura incidental durante la veda.

Durante los muestreos de mayo a julio se observó mayor cantidad de hembras y, durante septiembre, se podría especular que la ausencia de hembras inmaduras es prueba indirecta de la segregación que probablemente se da por los comportamientos agresivos entre machos y hembras, como lo reportó Klimley (1985, 1987). Sin embargo, esto sólo podrá ser dilucidado a través de estudios de marcaje y recaptura. La mayor cantidad de machos maduros en el mes de julio pudo deberse a que las lluvias, con el acarreo del continente al mar de material biogénico, promueven la presencia de otros organismos, lo que da como resultado una red trófica que le permite a los depredadores minimizar los gastos energéticos en la búsqueda de alimentos, siendo estos factores clave en la segregación (Ruckstuhl 1998, Sims 2005). La ausencia de hembras en etapas tempranas e intermedias de preñez es un reflejo de la segregación que provocan las migraciones ontogénicas (Hoyos-Padilla *et al.* 2014), que favorece el aprovechamiento diferencial de los recursos (Jorgensen *et al.* 2009), donde las migraciones mesopelágicas de las hembras son nocturnas (Moore y Gates 2015), por lo que no se observan en las capturas, ya que los artes de pesca trabajan durante la noche en zonas someras.

Es conocido que las hembras sufren aborto por estrés de captura (Rincon 2007), y las crías abortadas o extraídas de la madre (nombrados como tripa) son muy apreciadas por su sabor y su consistencia, lo que motivó que se excluyera a una hembra del análisis de fecundidad. Sin

embargo, esto no es sustento suficiente para aseverar que las tallas reportadas por Holden (1974), Dodrill (1977), Soriano-Velásquez *et al.* (2006), Hazin *et al.* (2001), Campuzano-Caballero (2002) y Brown *et al.* (2016) (35-38 cm LT, Tabla 5), sean de crías abortadas por el hecho de ser más pequeñas que las encontradas en el presente estudio; en todo caso, debe considerarse que dichas diferencias son producto de la diversidad metodológica aplicada por los diferentes autores. Lessa *et al.* (1998) también sugieren que las diferencias geográficas producen diferencias en las historias de vida. La evaluación de una u otra propuestas respectivas a esta variación en las tallas, debe considerar un mayor esfuerzo de muestreo que incluya histología gonadal. Con base en las 22 publicaciones que proporcionan la longitud de madurez, los límites de confianza estadística a 95% presentan un intervalo de talla para los machos de 159 a 184 cm, una media de 171 cm y DS = 28.1 cm, mientras que para las hembras el intervalo es de 183 a 235 cm, una media de 211 cm y DS = 35 cm.

La fecundidad estimada en este estudio fue similar a la encontrada en otros estudios (Tabla 5), y las posibles diferencias se debieron probablemente a los eventos abortivos de las hembras preñadas (Rincon 2007). La correlación positiva entre el número de embriones y la longitud de la madre de *Sphyrna lewini* ya había sido encontrada por Chen *et al.* (1988) y Crow *et al.* (1996). Si bien, el conteo de los embriones fue minucioso, los abortos ocurren también durante el tiempo en que las hembras preñadas se encuentran atrapadas en los artes de pesca, motivo por el cual es muy común encontrar valores bajos de correlación en este tipo de estudios (Conrath 2005).

La época de apareamientos, que fue de julio a agosto, decreció gradualmente, hasta que en enero no se observó ningún tiburón martillo en las capturas, siendo aparentemente más corta esta época en comparación con la que reportan Chen *et al.* (1988) para Taiwán (Tabla 5).

El tiempo de gestación estimado mediante la observación de los óvulos maduros (>4.7 cm de diámetro) en las hembras preñadas a término durante los meses de mayo a julio, y en las hembras con marcas de apareamiento en los meses de julio a agosto, concuerda con lo observado por Castro (2009) para una gestación de 12 meses

(anual); si bien esto difiere de los diez meses de gestación que reportan Chen *et al.* (1988), Hazin *et al.* (1998), Campuzano-Caballero (2002) y Bejarano-Álvarez *et al.* (2011) (Tabla 5), pero para poder esclarecer este tiempo será necesaria la observación en cautiverio o ampliar los muestreos en tiempo y tamaño, de tal forma que pueda hacerse un seguimiento veraz y confiable.

En este estudio, la época de partos se delimitó entre los meses de mayo a julio, lo que coincide con lo reportado por Chen *et al.* (1988) para Taiwán, Soriano-Velásquez *et al.* (2006) para el Golfo de Tehuantepec; Torres-Huerta *et al.* (2008) para el Golfo de California; y Campuzano-Caballero (2002) para la costa de Chiapas (Tabla 5). En otros trabajos se marca sólo el verano como la época de partos. Aun cuando existen trabajos donde se aprecian diferencias en los meses en que se dan los partos, como es el caso de White *et al.* (2008), quienes mencionan que los partos son durante octubre-noviembre para Indonesia, probablemente debido a la diferencia latitudinal. De la misma manera, Alejo-Plata *et al.* (2007) y Bejarano-Álvarez *et al.* (2011) mencionan que este periodo va de julio a agosto para el Golfo de Tehuantepec, si bien el tamaño de muestra fue mucho menor ($n = 419$ y $n = 910$, respectivamente) que el de la muestra analizada por Campuzano-Caballero (2002) ($n = 6\ 622$), lo que pudiera indicar que esto se debe a un sesgo de muestreo.

En muchos de los estudios sobre áreas de crianza, éstas se hallan en bahías someras (Castro 1993) donde las hembras preñadas y los neonatos presentan hábitos nocturnos, y el canibalismo de los juveniles sobre las crías indica la proximidad de otro estadio ontogénico, tal como lo observaron Clarke (1971) y Holland *et al.* (1993) para *S. lewini*. En el presente estudio, dentro del área de crianza hay un pequeño bajo y la desembocadura del río Nexpa, que tiene un sistema estuarino con bocabarra de arena que abre con la temporada de lluvias, de manera similar a lo encontrado por Adams y Paperno (2007) para el sistema estuarino de Cabo Cañaveral (EUA), así como por Brown *et al.* (2016), quienes delimitaron un área de crianza para las islas Fiji en el sistema estuarino del río Rewa. En estos sistemas hay manchones de manglar, pastos marinos, sistemas algares y una alta biodiversidad en la comunidad de peces residentes y estacionales (Madrid

y Sánchez 1997) que genera una cascada trófica que promueve usos diferencial y estacional del área que aprovechan los depredadores, como los elasmobranquios, como fue constatado por Prus (2013) para *Carcharhinus leucas* (Valenciennes 1839) en las islas Darwin y Wolf. Por otro lado, los cambios estacionales de corrientes y la apertura de la bocabarra en el río Nexpa generan una pluma de importancia regional (Madrid y Sánchez 1997), que provoca cambios evidentes en turbidez y salinidad, principalmente, parámetros que, de acuerdo con Yates *et al.* (2015) son aprovechados para el establecimiento de las áreas de crianza por parte de *S. lewini* en las bahías de Rockingham y Repulse en Australia.

Al igual que en este trabajo, se ha observado que *S. lewini* hace un uso diferencial del área de crianza con *C. limbatus* y *Rhizoprionodon* spp., documentado por Carlson y Brusher (1999) para la bahía Apalachicola y San Andrew Sound, esta misma asociación se repite en la bahía de Cleveland en Australia (Simpfendorfer y Milward 1993) y en Cabo Cañaveral (EUA) (Adams y Paperno 2007). Asimismo, hay asociaciones con baotoideos, tales como rhinobátidos y miliobátidos (Parker Jr y Bailey 1979, Castro 1993), por lo que es de esperarse que los dasyátidos también puedan usar este hábitat, como se observa en este estudio. Lo anterior pone de manifiesto la importancia, no sólo para una especie, sino para los depredadores tope del área de crianza, del manejo y la conservación de los recursos pesqueros.

Si bien la búsqueda de indicadores fehacientes y robustos para delimitar las áreas de crianza no ha sido estandarizada, los análisis por conglomerados de la estadística multivariada, usando las etapas ontogénicas, pueden dar buenos resultados solamente para delimitar la parte donde se asocian los neonatos y las hembras, que es reflejo del criterio de predominancia propuesto por Heupel *et al.* (2007): “los tiburones se encuentran más comúnmente en el área de crianza que en otras áreas”. Otro criterio de estos investigadores puede resumirse como filopatría y sólo se podrá comprobar mediante seguimiento por telemetría satelital o marcaje y recaptura, método costoso por los insumos y mano de obra que se requieren. El tercero y último criterio, “El área de crianza se usa recurrentemente a lo largo de los años”, puede evidenciarse por medio de un análisis de

series de tiempo; es claro que se requerirán muestreos con tiempos largos, pero de acuerdo con las políticas de conservación, estos muestreos pueden instrumentarse a manera de monitoreo en las áreas de crianza que han sido propuestas en los últimos 20 años y que han sido consideradas como áreas protegidas. Es importante mencionar el trabajo de Quintanilla *et al.* (2015), quienes a través de la evaluación de la conectividad genética de *S. lewini* proponen un área de crianza entre las islas de Malpelo y la costa del Pacífico de Costa Rica; este trabajo puede complementarse con las propuestas que evalúen los criterios propuestos por Heupel *et al.* (2007).

Este estudio, además de aportar algunos aspectos reproductivos de *S. lewini*, es el primer reporte que presenta evidencia estadística basada en datos de campo para delimitar un área de crianza, sustentada con la presencia de neonatos y hembras preñadas, además del uso recurrente de un hábitat para dicho fin. La validación de este tipo de áreas es una de las necesidades más importantes en las políticas de manejo y conservación de recursos naturales para establecer zonas de protección, ya sea con vedas temporales, restricciones a los artes de pesca o ambos (Kinney y Simpfendorfer 2009, Salomón-Aguilar *et al.* 2009). Sin embargo, al ser la pesca una actividad que sustenta a las comunidades costeras, deberán evaluarse las pesquerías asociadas a la pesca incidental o dirigida a los tiburones, que se realizan dentro del área de crianza, ya que son zonas donde existe una importante diversidad y gran abundancia de peces de interés comercial, que también presentan categorías de acuerdo con su demanda y su disponibilidad estacional, de tal manera que se proteja tanto a los recursos pesqueros, como la capacidad de sustento de las comunidades dedicadas a la pesca con el fin de preservar la cultura pesquera de los pueblos costeros.

Agradecimientos

Gracias a Felipe Amezcua-Linares, Manuel Gallardo-Cabello y Fabio Hazin por sus sugerencias. A la cooperativa de Producción Pesquera Tonatiuh de Caleta de Campos, Michoacán, a Arturo García-Ochoa, Javier Magaña, e Isabel Churu. Se agradece sinceramente a los revisores

anónimos que permitieron que este trabajo se potenciara. Este estudio fue financiado en parte por el Conacyt a través de la beca para estudios de doctorado Núm. 170531.

Literatura citada

- Adams DH, R Paperno. 2007. Preliminary assessment of a nearshore nursery ground for the scalloped hammerhead off the Atlantic coast of Florida. *American Fisheries Society Symposium* 50:165-174.
- Alejo-Plata C, JL Gómez-Márquez, S Ramos, E Herrera. 2007. Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 403-413. DOI: 10.4067/S0718-19572007000300020
- Anislado-Tolentino V. 2008. Demografía y pesquería del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) (Pisces: Elasmobranchii) en dos provincias del Pacífico mexicano. Tesis de Doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 182p.
- Anislado-Tolentino V, C Robinson-Mendoza. 2001. Age and growth for the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834) along the central Pacific coast of Mexico. *Ciencias Marinas* 27(4): 501-520. DOI: 10.7773/cm.v27i4.503
- Applegate SP, L Espinosa, L Menchaca, F Sotelo. 1979. *Tiburones mexicanos*. Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica. Dirección de Ciencias y Tecnología del Mar. México. 146p.
- Bass AJ. 1978. Problems in studies of sharks in the Southwest Indian Ocean. In: Hodgson ES, RF Mathewson (eds.). *Sensory biology of sharks, skates and rays*. Office of Naval Research, Department of the Navy, Arlington. pp: 545-594.
- Bass AJ, J D'Aubrey, N Kistnasamy. 1975. Sharks of the east coast of southern Africa. III. The families Carcharhinidae (excluding *Mustelus* and *Carcharhinus*) and Sphyrnidae. *South African Association for Marine Biological Research. Oceanographic Research Institute* (38): 1-100.
- Baum J, S Clarke, A Domingo, M Ducrocq, AF Lamónaca, N Gaibor, R Graham, S Jorgensen, JE Kotas, E Medina, J Martinez-Ortiz, J Monzini Taccone di Sitizano, MR Morales, SS

- Navarro, JC Pérez-Jiménez, C Ruiz, W Smith, SV Valenti, CM Vooren. 2007. *Sphyrna lewini*. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T39385A10190088. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T39385A10190088.en
- Beck MW, KI Heck Jr, KW Able, DI Childers, DB Eggleston, BM Gillanders, BH Halpern, CG Hays, K Hoshino, TJ Minello, RJ Orth, PF Sheridan, MP Weinstein. 2001. The identification, conservation and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience* 51:633-641. DOI: 10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2
- Bejarano-Álvarez M, F Galván-Magaña, RI Ochoa-Báez. 2011. Reproductive biology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Chondrichthyes: Sphyrnidae) off southwest Mexico. *Aqua, International Journal of Ichthyology* 17(1): 11-22.
- Branstetter SD. 1987. Age, growth and reproductive biology of silky shark, *Carcharhinus falciformis* and scalloped hammerhead *Sphyrna lewini* from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes* 19(3): 161-173.
- Brown KT, J Seeto, MM Lal, CE Miller. 2016. Discovery of an important aggregation area for endangered scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, in the Rewa River estuary, Fiji Islands. *Pacific Conservation Biology* 22(3): 242-248. DOI: 10.1071/PC14930
- Campuzano-Caballero JC. 2002. Biología y pesquería del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en Puerto Madero, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 196p.
- Capapé C, M Diop, M N'Dao, 1998. Record of four pregnant females of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini* (Sphyrnidae) in Senegalese waters (Eastern Tropical Atlantic). *Cybium* 22: 89-93.
- Carlson JK, JH Brusher. 1999. An index of abundance for coastal species of juvenile sharks from the Northeast Gulf of Mexico. *Marine Fisheries Review* 61(3): 37-45.
- Castro JI. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environmental Biology of Fishes* 38(1-3): 37-48.
- Castro JI. 2009. Observations on the reproductive cycles of some viviparous North American sharks. *Aqua, International Journal of Ichthyology* 15(4-15): 205-222
- Castro JI, CM Woodley, RL Brudek. 1999. A preliminary evaluation of the status of shark species. *FAO Fisheries Technical Paper* 380: 72p.
- Chen CT, TC Leu, J Joung. 1988. Notes on reproduction in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* in northeastern Taiwan waters. *Fishery Bulletin* 86(2): 389-393.
- Clarke TA. 1971. The ecology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in Hawaii. *Pacific Science* 25: 133-144.
- Compagno LV, M Dando, S Fowler. 2005. *A field guide to the sharks of the world*. HarperCollins Publishers Ltd., London. 368p.
- Conrath CL. 2005. Reproductive biology. In: J Musik, R Bonfil (eds.). Management techniques for elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper* 474: 103-126.
- Conrath CL, JA Musick. 2002. Reproductive biology of the dusky smooth-hound, *Mustelus canis*, in the northwest Atlantic Ocean. *Environmental Biology of Fishes* 64: 367-377.
- Crow GL, CG Lowe, BM Wertherbee. 1996. Shark records from longline fishing programs in Hawaii with comments on Pacific Ocean distributions. *Pacific Science* 50(4): 382-392.
- Doddrill JW. 1977. A hook and line survey of the sharks of Melbourne Beach, Brevard County, Florida. Tesis de Maestría en Ciencias. Florida Institute of Technology, Melbourne. 304p.
- DOF. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006. Pesca responsable de tiburones y rayas: especificaciones para su aprovechamiento. *Diario Oficial de la Federación*. México. 14 de febrero de 2007.
- Duncan KM, KN Holland. 2006. Habitat use, growth rates and dispersal patterns of juvenile scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in a nursery habitat. *Marine Ecology Progress Series* 312: 211-221
- Harry AV, WG Macbet, AN Gutteridge, CA Simpfendorfer. 2011. The life histories of endangered hammerhead sharks (Carcharhiniformes, Sphyrnidae) from the east coast of Australia. *Journal of Fish Biology* 78 (7): 2026-2051.
- Hazin FHV, JR Zagaglia, MK Broadhurst, PEP Travassos, TRQ Bezerra. 1998. Review of a small-scale pelagic longline fishery off northeastern Brazil. *Marine Fisheries Review* 60: 1-8.
- Hazin FHV, A Fischer, M Broadhurst. 2001. Aspects of reproductive biology of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, off northeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes* 61: 151-159.

- Hernández-Carvallo A. 1965. Resumen de las investigaciones sobre elasmobranquios de la República Mexicana. *Trabajos de divulgación del Instituto Nacional de Investigaciones de Biológico-Pesquera* 10(97): 1-5.
- Heupel MR, RE Hueter. 2002. Importance of prey density in relation to the movement patterns of juvenile blacktips sharks (*Carcharhinus limbatus*) within a coastal nursery area. *Marine and Fresh Water Research* 53: 543-550.
- Heupel M, J Carlson, C Simpfendorfer. 2007. Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series* 337: 287-297.
- Holden MJ. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. In: FR Harden-Jones (ed.). *Sea fisheries research*. Elsk, London. pp: 117-138.
- Holland KN, BM Wetherbee, JD Peterson, CG Lowe. 1993. Movements and distribution of hammerhead shark pups on their natal grounds. *Copeia* 1993: 495-502.
- Hoyos-Padilla EM, JT Ketchum, AP Klimley, F Galván-Magaña. 2014. Ontogenetic migration of a female scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Gulf of California. *Animal Biotelemetry* 2: 17. DOI: 10.1186/2050-3385-2-17
- Jones TS, KI Ugland. 2001. Reproduction of female spiny dogfish, *Squalus acanthias*, in the Oslofjord. *Fishery Bulletin* 99: 685- 690.
- Jorgensen SJ, AP Klimley, AF Muhlia-Melo. 2009. Scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*, utilizes deep-water, hypoxic zone in Gulf of California. *Journal of Fish Biology* 74: 1682-1687.
- Kinney M, C Simpfendorfer. 2009. Reassessing the value of nursery areas to shark conservation and management. *Conservation Letters* 2: 53-60. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2008.00046.x
- Klimley AP. 1985. Schooling in the large predator, *Sphyrna lewini*, a species with low risk of predation: a non-egalitarian state. *Zeitschrift für Tierpsychologie (=Ethology)* 70: 297-319.
- Klimley AP. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes* 18(1): 27-40.
- Kovach WL. 2007. *MVSP-multivariate statistical package. Version 3.13*. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK.
- Last PR, JD Stevens. 1994. *Sharks and rays of Australia*. CSIRO. Australia. 513p.
- Lessa R, RC Menni, F Lucena. 1998. Biological observations on *Sphyrna lewini* and *S. tudes* (Chondrichthyes, Sphyrnidae) from northern Brazil. *Vie et Milieu* 48: 203-213.
- Madrid VJ, P Sánchez. 1997. Patterns in marine fish communities as shown by artisanal fisheries data on the shelf off the Nexpa River, Michoacán, México. *Fisheries Research* 33: 149-158.
- Marie AD, C Miller, C Cawich, S Piovano, C Rico. 2017. Fisheries-independent surveys identify critical habitats for young scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in the Rewa Delta, Fiji. *Nature Scientific Reports* 7: 17273. DOI: 10.1038/s41598-017-17152-0
- Meyer R, D Krueger. 1998. *A Minitab guide to statistics*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 403p.
- Moore ABM, AR Gates. 2015. Deep-water observation of scalloped hammerhead *Sphyrna lewini* in the western Indian Ocean off Tanzania. *Marine Biodiversity Records* 8(91): 1-4. DOI: 10.1017/S1755267215000627
- Parker Jr FR, CM Bailey. 1979. Massive aggregations of elasmobranches near Mustang and Padre Islands, Texas. *Texas Journal Science* 31(3): 255-266.
- Prus K. 2013. Behavior and conservation of scalloped hammerheads (*Sphyrna lewini*) in the Eastern Tropical Pacific. *Natural Sciences Capstone Projects*. Paper 1. 43p.
- Quintanilla S, A Gómez, C Mariño-Ramírez, C Sorzano, S Bessudo, G Soler, JE Bernal, S Caballero. 2015. Conservation genetics of the scalloped hammerhead shark in the Pacific coast of Colombia. *Journal of Heredity* 106: 448-458. DOI: 10.1093/jhered/esv050
- Rincon G. 2007. A record of abortion in the school shark *Galeorhinus galeus* (Carcharhiniformes, Triakidae) captured on the continental shelf off southern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 2(1): 53-54.
- Ruckstuhl K. 1998. Foraging behaviour and sexual segregation in bighorn sheep. *Animal Behaviour* 56(1): 99-106.
- Salomón-Aguilar CA, CJ Villavicencio-Garayzar, H Reyes-Bonilla. 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas* 35(4): 369-388
- Siegel S, NJ Castellan. 1995. *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. 4° Ed. Editorial Trillas. México. 437p.
- Simpfendorfer C, NE Milward. 1993. Utilization of a tropical bay as a nursery area by sharks of the families Carcharhinidae and Sphyrnidae. *Environmental Biology of Fishes* 37(4): 337-345. DOI: 10.1007/BF00005200

- Sims DW. 2005. Differences in habitat selection and reproductive strategies of male and female sharks. *In*: KE Ruckstuhl, P Neuhaus (eds.). *Sexual segregation in vertebrates ecology of the two sexes*. Cambridge University Press. pp: 127-147.
- Soriano-Velásquez SR, DE Acal-Sánchez, JL Castillo-Géniz, N Vázquez-Gómez, CE Ramírez-Santiago. 2006. Tiburón del Golfo de Tehuantepec. *En*: F Arreguín-Sánchez, L Beléndez-Moreno, I Méndez Gómez-Humarán, R Solana-Sansores, C Rangel-Dávalos (eds.). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo*. Instituto Nacional de Pesca. México. pp: 325-363.
- Springer S. 1967. Social organization of shark population. *In*: PW Gilbert, RF Mattheewson, D Rall (eds.). *Sharks, skates and rays*. The Johns Hopkins Press Baltimore, Maryland. pp: 149-174.
- Stehmann M. 2002. Proposal of a maturity stages scale for oviparous and viviparous cartilaginous fishes (Pisces, Chondrichthyes). *Archive of Fishery and Marine Research* 50(1): 23-48.
- Stevens JD, JM Lyle. 1989. Biology of the three hammerhead sharks (*Eusphyrna blochii*, *Sphyrna mokarran* and *S. lewini*) from northern Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 40: 129-146.
- Torres-Huerta AM. 1999. Observaciones sobre la biología reproductiva de la cornuda barrosa *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) (Pisces: Sphyrnidae) en aguas del noroeste de México. Tesis de Licenciatura. ENEP-Iztacala. UNAM. México. 68p.
- Torres-Huerta AM, C Villavicencio-Garayzar, D Corro-Espinosa. 2008. Biología reproductiva de la cornuda común *Sphyrna lewini* Griffith & Smith (Sphyrnidae) en el Golfo de California. *Hidrobiológica* 18(3): 227-238.
- Walker TI. 2005. Reproduction in fisheries science. *In*: WC Hamlett (ed.). *Reproductive biology and phylogeny of Chondrichthyes: sharks, rays and chimaeras*. Science Publishers Inc. Enfield, New Hampshire. pp: 81-127.
- White WT, C Bartron, IC Potter. 2008. Catch composition and reproductive biology of *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith) (Carcharhiniformes, Sphyrnidae) in Indonesian waters. *Journal of Fish Biology* 72: 1675-1689. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2008.01843.x
- Yates PM, MR Heupel, AJ Tobin, CA Simpfendorfer. 2015. Spatio-Temporal occurrence patterns of young sharks in tropical coastal waters. *Estuaries and Coasts* 38(6): 2019-2030. DOI: 10.1007/s12237-015-9952-4
- Zar JH. 1999. *Biostatistical analysis*. Fourth edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 663p.

Recibido: 12 de mayo de 2018

Aceptado: 5 de septiembre de 2018