

**ENFOQUE MULTIESPECÍFICO EN EL MANEJO DE TIBURONES DEL GOLFO DE MÉXICO:
IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES CON FRAGILIDAD BIOLÓGICA ALTA**

**MULTI-SPECIFIC APPROACH IN MANAGEMENT OF SHARKS IN GULF OF MEXICO:
IDENTIFICATION OF SPECIES WITH HIGH BIOLOGICAL FRAGILITY**

Carlos Alberto Salomón-Aguilar

Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Apartado Postal 19-B, La Paz, CP 23080, Baja California Sur, México

Autor de correspondencia: csalomon@uabcs.mx

Fecha de recepción: 1 de agosto de 2012 - Fecha de aceptación: 12 de noviembre de 2012

RESUMEN. La problemática generalizada de la pesquería de tiburones en el Golfo de México es la falta de información estadística confiable de las capturas por especie. Esta situación dificulta la obtención de rendimientos máximos, unidades de esfuerzo óptimo y tamaños efectivos poblacionales con el uso de modelos tradicionales. Debido a lo anterior, el objetivo fue identificar las especies más susceptibles a sobre explotación mediante un análisis multiespecífico para la identificación de Áreas Prioritarias de Investigación y Conservación (APIyC). El índice de fragilidad biológica que se utilizó está integrado por características del ciclo de vida que define a los elasmobranquios como estrategias K. La selección de APIyC se realizó con análisis de complementariedad y discrepancias. Las especies vulnerables a intensos regímenes de pesca fueron *Carcharhinus acronotus*, *Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus obscurus*, *Negaprion brevirostris* y *Rhizoprionodon terraenovae*. Las zonas principales que deben estar sujetas a conservación son Bahía Ascensión y Espíritu Santo, Quintana Roo. Al comparar las APIyC con las Áreas Naturales Protegidas y los refugios pesqueros de la NOM-029-PESC-2006, coincidieron en un 88.89% y 44.44%, respectivamente. *Carcharhinus longimanus*, *Carcharhinus perezi*, *Carcharhinus signatus*, *Galeocerdo cuvier*, *Ginglymostoma cirratum*, *Mustelus canis*, *Squalus asper* y *Squalus cubensis* no se consideraron en el presente trabajo por la carencia de datos regionales.

Palabras clave: elasmobranquios, vulnerabilidad, reproducción, complementariedad, *Carcharhinus obscurus*, cazón, edad de madurez.

ABSTRACT. The main problem of the shark fishery in the Gulf of Mexico is the lack of reliable statistical data on catches by species. This situation difficult the obtention of maximum yields, optimal effort units and effective population size with the use traditional models. Due to this, the objective was to detect the shark species most susceptible to over-exploitation by means of multi-species analysis in order to identify Priority Areas for Research and Conservation (PARC). The biological fragility index that was used consists of life-history characteristics that define the elasmobranchs as K strategists. The selection of PARC was performed using analysis of complementarity and discrepancies. Vulnerable species to intense fishing regimes were *Carcharhinus acronotus*, *Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus obscurus*, *Negaprion brevirostris* and *Rhizoprionodon terraenovae*. The main areas to be considered for conservation are Bahía Ascensión and Espíritu Santo, Quintana Roo, Mexico. Comparing the PARC with Protected Natural Areas and fishing refuges of the NOM-029-PESC-2006, both coincided 88.89% and 44.44%, respectively. *Carcharhinus longimanus*, *Carcharhinus perezi*, *Carcharhinus signatus*, *Galeocerdo cuvier*, *Ginglymostoma cirratum*, *Mustelus canis*, *Squalus asper* and *Squalus cubensis* were not considered in this work by the lack of regional data.

Key words: elasmobranchs, vulnerability, reproduction, complementarity, *Carcharhinus obscurus*, sharks less than 1.5 m, age of maturity.

INTRODUCCIÓN

Los tiburones se consideran estrategias K debido al bajo potencial reproductivo que presentan durante sus ciclos de vida. La edad de primera madurez varía ampliamente entre las especies, aunque la mayoría madura entre 6 y 18 años. Sin embargo, otras especies difieren del intervalo mencionado, por ejemplo, el tiburón limón (*Negaprion brevirostris*) en el sur de Florida se reproduce hasta que alcanza los 24 años, mientras que *Sphyrna acanthias* en la Columbia Británica a los 35 años (Walker, 1992; Saunders y McFarlane, 1993). Con respecto al periodo de gestación, en promedio se manejan de 9 a 12 meses, excepto a algunas especies como *S. acanthias* (24 meses) y *Carcharhinus obscurus* (18 meses) (Helfman *et al.*, 2000). Finalmente, se caracterizan por un crecimiento lento con tasas promedio inferiores a 0.15 para las especies más susceptibles a sobre explotación (Stone *et al.*, 1998; Musick, 1999).

La relación entre el número de descendientes y la talla de nacimiento se explica con tres estrategias diferentes de vida de las especies del Golfo de México: 1) las que tienen pocas crías de gran tamaño (*Alopias superciliosus*); 2) pocas crías de tamaño medio (*Carcharhinus falciformis*, *C. limbatus*, *C. leucas* y *C. obscurus*); y 3) muchas crías de tallas pequeñas (*Sphyrna lewini* y *Sphyrna tiburo*). Esto con la finalidad de proteger de manera indirecta a su descendencia y reducir la mortalidad natural por depredación (Branstetter, 1987a; Branstetter, 1991; Castro, 1993).

Las características del ciclo de vida descritas anteriormente se presentan de manera diferencial entre especies, por ello es importante definir cuales son las de mayor fragilidad biológica y sus áreas principales de distribución para aplicar el principio precautorio del Código Internacional de Conducta para la Pesca Responsable en las medidas de manejo y conservación del recurso en el litoral del Golfo de México (FAO, 2001).

En México no existen registros de captura de tiburones por especie, solo son agrupados en dos categorías generales: tiburón y cazón, individuos mayores y menores a 1.5 m, respectivamente. Debido a lo anterior, es complicado establecer puntos de referencia específicos con las estadísticas oficiales de producción (DOF, 2007a).

El registro inadecuado de la información pesquera de los tiburones es un problema a nivel mundial, no es exclusivo para México, por lo que se han desarrollado técnicas de evaluación rápida de los stocks de la región de Australia, las cuales utilizan criterios cualitativos y cuantitativos

enfocados en pesquerías de elasmobranquios (objetivas e incidentales) con el propósito de solventar la inoperancia de los métodos tradicionales de manejo en condiciones desfavorables (Walker, 2005).

El nuevo análisis que identifica especies que necesitan protección se conoce como “Evaluación de Riesgo Ecológico para los Efectos de la Pesca (EREPE)”, destaca datos prioritarios acerca de una especie y es una herramienta útil para evaluar las poblaciones donde no se tienen cifras de capturas confiables (Stobutzki *et al.*, 2002; Hobday *et al.*, 2004; Braccini *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2007).

El análisis EREPE involucra tres niveles jerárquicos: 1) identificación de artes de pesca prioritarios con base en su impacto en el ecosistema; 2) selección de especies que se deben considerar para el manejo pesquero mediante el análisis de productividad biológica (constante de crecimiento, fecundidad, edad de madurez y edad máxima) y susceptibilidad de captura; y 3) análisis cuantitativo para las especies detectadas como prioritarias en el nivel anterior, con modelos dinámicos de biomasa que utilizan series largas de captura y esfuerzo, las que no están disponibles para la mayoría de las especies de tiburón en las pesquerías mundiales (Musick, 1999; Stobutzki *et al.*, 2002; Braccini *et al.*, 2006).

La carencia de un sistema de registro de capturas por especie, la falta de modelos multiespecíficos que integren información sobre biología reproductiva y el desconocimiento histórico del esfuerzo efectivo de pesca aplicado en la pesquería de tiburón del Golfo de México, hace imposible que se pueda utilizar el análisis EREPE desarrollando sus tres componentes, por esta razón, en el presente estudio se utiliza el Índice de Fragilidad con el fin de identificar a las especies de importancia comercial más susceptibles a sobre explotación considerando las disposiciones implícitas en el artículo 36 del título sexto de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables Mexicana, correspondiente a los programas de ordenamiento pesquero (DOF, 2007b).

Las Entidades Federativas costeras del Golfo de México que aportan los mayores volúmenes en peso vivo de tiburón son Veracruz, Tamaulipas, Campeche y Yucatán con 28, 27, 17 y 16%, respectivamente. La pesquería se colapsó desde 1997, donde fue notable una sucesión en las abundancias de las especies, ya que en la década de los noventa, *C. limbatus* era la más abundante en las capturas y actualmente es el “cazón de ley” (*R. terraenovae*). El promedio anual de tiburón-cazón (1998-2007) extraído

en la región fue de 6,481 t y aunque la Carta Nacional Pesquera maneja a nueve especies objetivo principales (*C. acronotus*, *C. brevipinna*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. porosus*, *R. terraenovae*, *S. lewini* y *S. tiburo*), se desconoce el porcentaje que representa cada una con respecto al peso vivo registrado en los Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca. Desafortunadamente, el 50% de la producción de esta zona está integrada por organismos inmaduros y hembras grávidas (SAGARPA, 2000; DOF, 2007a; DOF, 2010).

MÉTODOS

ÍNDICE DE FRAGILIDAD BIOLÓGICA

La resistencia y capacidad de respuesta potencial de los tiburones a posibles periodos de sobre pesca se calculó para 12 especies de importancia comercial en el Golfo de México, mediante la modificación del Índice de Fragilidad propuesto por Salomón-Aguilar y Villavicencio-Garayzar (2011). Las características del ciclo de vida que se consideraron para integrar el análisis multiespecífico fueron: edad de madurez, fecundidad, periodo de gestación, proporción de L50 con respecto a la talla máxima alcanzada y la constante de la función de crecimiento de von Bertalanffy (K). La selección de los parámetros poblacionales enlistados se determinó con dos fundamentos básicos: 1) la disponibilidad de información en tesis, artículos científicos e informes técnicos sobre biología reproductiva, edad y crecimiento, y pesquerías para todas las especies consideradas en este estudio a nivel regional; y 2) la funcionalidad para describir la productividad biológica de peces marinos (Musick, 1999).

La edad de madurez, el periodo de gestación y la constante de crecimiento por especie fueron obtenidos de la base de datos fishbase (<http://www.fishbase.org/search.php>)

y Camhi *et al.* (2009), considerado por la falta de datos en la bibliografía especializada del Golfo de México, excepto para *C. limbatus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. brevipinna*, *S. lewini* y *S. mokarran*, ya que son las especies más estudiadas desde el punto de vista biológico-pesquero en la región.

Los atributos de fragilidad presentan unidades diferentes, y datos máximos y mínimos extremos, por tanto, para comparar los componentes del índice se normalizaron los criterios para obtener valores entre 0 y 1 con la siguiente fórmula (Kaly *et al.*, 1999; SEMARNAT-INE, 2001):

$$VN = (D - D.MIN) / (D.MAX - D.MIN)$$

Donde, *VN* es el valor normalizado del criterio *i* para la especie *i*, *D* es el dato correspondiente a la especie *i* y el criterio *i*, *D.MIN* y *D.MAX* son el dato mínimo y máximo, respectivamente, del criterio *i* considerando *n* especies.

A partir de la fórmula anterior se obtuvieron cinco clases con su respectivo valor de fragilidad, ordenados del 1 al 5 para cada atributo por especie (Tabla 1). Este sistema de clasificación es aplicable a todos los criterios, excepto para la fecundidad y la K, debido a que las especies con menor potencial reproductivo y de lento crecimiento son más vulnerables a intensos regímenes de pesca, por lo que el valor de los rangos se invierte con respecto a las clases de datos normalizados.

En el sistema de clasificación final correspondiente al grado de fragilidad biológica se asignó un puntaje máximo posible de 25 (sumatoria) para cada una de las especies analizadas de acuerdo con los cinco criterios establecidos y a las cinco clases potenciales ordenadas en los siguientes rangos: <5 es muy bajo, 6 a 10 es bajo, 11 a 15 es medio, 16 a 20 es alto y de 21 a 25 es muy alto.

Tabla 1. Clases de datos normalizados para determinar la fragilidad de las especies.

CLASE	INTERVALOS PARA LOS CRITERIOS QUE INTEGRAN EL ÍNDICE DE FRAGILIDAD
0-0.2	Muy Baja (1)
0.21-0.4	Baja (2)
0.41-0.6	Media (3)
0.61-0.8	Alta (4)
0.81-1	Muy Alta (5)



Figura 1. Cuadrantes que indican las regiones de captura y desembarque en las que existen datos biológico-pesqueros publicados para las 12 especies consideradas en el presente estudio.

ÁREAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE TIBURONES

La identificación de zonas prioritarias para la investigación y conservación de tiburones fue realizada aplicando el análisis de complementariedad propuesto por Humphries *et al.* (1991) y Vane-Wright *et al.* (1991). Se utilizó como criterio de selección de áreas la presencia de especies con fragilidad alta. Los sitios de distribución considerados fueron los 11 cuadrantes de 1 grado de latitud por 1 grado de longitud del Golfo de México y Mar Caribe mexicano que representan las zonas de desembarque en las que existe información biológica y pesquera documentada por especie (Figura 1, Tabla 2). Este algoritmo ha sido empleado a nivel internacional para definir Áreas Marinas Protegidas (AMP's) de aves, mamíferos marinos, corales, peces óseos y tiburones, ya que permite proteger el 100% de las especies en una cantidad mínima de áreas (Salomón-Aguilar *et al.*, 2009).

Los vacíos y omisiones en la conservación del recurso pesquero se determinaron de manera comparativa con el análisis de discrepancias, utilizando registros de Áreas

Naturales Protegidas (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007) y de refugios en los que se prohíbe el uso de redes de enmalle, independientemente del objetivo de pesca, durante el período comprendido del 1 al 30 de junio de cada año para proteger el proceso de reproducción y/o nacimiento de los tiburones y rayas, incluidos en el punto 4.3.7 de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 (DOF, 2007a). Posteriormente, se elaboró un mapa con el programa ArcView 3.2 (Sistema de Información Geográfica) para representar la región de mayor importancia en cuanto a la distribución de las especies más frágiles.

RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DE HISTORIA DE VIDA

Al desglosar las características de historia de vida que definen a los tiburones como estrategias “K” de las 12 especies de importancia comercial analizadas en la presente investigación, se reconocieron las siguientes similitudes y diferencias:

Tabla 2. Especies importantes en las capturas nominales y de las que existen estudios sobre biología reproductiva para cada uno de los cuadrantes que representan los principales sitios en los que se desembarcan tiburones en el Golfo de México.

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CUADRANTES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	Cazón de ley	x	x								x		x
<i>Carcharhinus limbatus</i>	Tiburón puntas negras	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Carcharhinus acronotus</i>	Cazón canguay										x	x	x
<i>Carcharhinus leucas</i>	Tiburón toro	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Carcharhinus falciformis</i>	Tiburón sedoso			x	x			x					x
<i>Carcharhinus porosus</i>	Cazón cuero									x	x		
<i>Carcharhinus brevipinna</i>	Tiburón picudo	x	x		x						x		
<i>Sphyrna tiburo</i>	Cornuda cachucha									x	x	x	x
<i>Sphyrna lewini</i>	Cornuda común			x							x	x	x
<i>Carcharhinus obscurus</i>	Tiburón arenero										x		x
<i>Negaprion brevirostris</i>	Tiburón limón										x	x	x
<i>Sphyrna mokarran</i>	Cornuda gigante										x	x	x

Edad de madurez: Las especies que maduran sexualmente a edades superiores a los 10 años son *C. leucas*, *C. obscurus*, *N. brevirostris* y *S. lewini*, mientras que *R. terraenovae* y *S. tiburo* son capaces de reproducirse a partir de los tres y cuatro años, respectivamente (Tabla 3). Esta condición se debe a la relación directamente proporcional que existe entre el proceso de crecimiento (talla-longevidad) y la reproducción (L50-edad de madurez) inherentes a cada stock.

Fecundidad: El 50% de las especies analizadas (*C. acronotus*, *C. brevipinna*, *C. limbatus*, *C. obscurus*, *C. porosus* y *R. terraenovae*) tienen menos de 10 crías potenciales por temporada reproductiva. El contraste lo representan las hembras de las cornudas, *S. lewini* y *S. mokarran*, ya que cada una puede alumbrar hasta 42 neonatos por camada (Tabla 3).

Gestación: Las hembras de la cornuda cachucha (*S. tiburo*) mantienen a sus crías en el útero solamente durante cinco meses, sin embargo, la moda para las especies incluidas en el cálculo del índice de fragilidad biológica se sitúa en 12 meses. El tiburón arenero (*C. obscurus*) es el más susceptible a sobre pesca con respecto a este atributo, por lo que en

las capturas se pueden obtener mayores proporciones de hembras preñadas por los prolongados periodos de desarrollo embrionario (22 meses) (Tabla 3).

Proporción de L50 con respecto a la talla máxima alcanzada: Las hembras en elasmobranquios alcanzan longitudes totales máximas y tallas de madurez superiores al compararlas con los machos de la misma especie. En los machos, la relación porcentual se estableció entre el intervalo de 64.49% (*R. terraenovae*, mínimo) a 85.84% (*C. acronotus*, máximo), y en las hembras fue de 70.99% (*C. leucas*, mínimo) a 97.14% (*N. brevirostris*, máximo) (Tabla 3).

Constante K de von Bertalanffy: Las especies con crecimiento lento ($K \leq 0.15$) fueron *C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. obscurus*, *C. porosus*, *N. brevirostris*, *S. lewini* y *S. mokarran*. Con respecto a los tiburones con valores de K superiores a 0.15 se identificó a *R. terraenovae* (0.19), *C. brevipinna* (0.21), *C. limbatus* (0.27) y *S. tiburo* (0.34) (Tabla 3).

ÍNDICE DE FRAGILIDAD BIOLÓGICA

De las 12 especies analizadas con el enfoque multiespecífico, el tiburón arenero (*C. obscurus*) es el más susceptible a sobre

Tabla 3. Características del ciclo de vida de las especies de importancia comercial del Golfo de México que determinan la fragilidad biológica*.

ESPECIE	CRITERIOS					
	EM (M/H)	F	PG	RELACIÓN PORCENTUAL L50-TMAX (M/H)**	K	REFERENCIAS***
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	4	1-9	12	64.49/87.38	0.19	3; b, f, l
<i>Carcharhinus limbatus</i>	4-5/5-6	2-7	12	74.96/81.23	0.27	1; b, f, k
<i>Carcharhinus falciformis</i>	6-7/7-9	1-15	12	65.15/84.69	0.15	2; c, f, h, l
<i>Carcharhinus leucas</i>	10	1-22	11	66.89/70.99	0.13	a, d, f, j, l
<i>Carcharhinus obscurus</i>	19-21	3-9	22	69.45	0.03	a, c, l
<i>Carcharhinus acronotus</i>	5.4/6.6	1-6	11	85.84/86.51	0.12	b, f, l
<i>Carcharhinus brevipinna</i>	7/8	3-10	15	74.89/75	0.21	1; f, i, l
<i>Carcharhinus porosus</i>	6	2-10	12	75.89/80.36	0.10	a, f, l
<i>Negaprion brevirostris</i>	13	4-17	12	81.75/97.14	0.05	a, l
<i>Sphyrna tiburo</i>	3	1-19	5	76.92/80.43	0.34	f, e, g, l
<i>Sphyrna lewini</i>	10/15	4-42	12	65.36/71.90	0.07	2; f, h, l
<i>Sphyrna mokarran</i>	8	6-42	11	71.12	0.11	c, l, m

*EM, edad de madurez (años); F, fecundidad (número de crías); PG, periodo de gestación (meses); L50, longitud total en que el 50% de los individuos están maduros sexualmente; Tmax, talla máxima; M, machos; H, hembras; y K, constante de crecimiento von Bertalanffy.

**La relación porcentual L50-Tmax se calculó a partir de los datos obtenidos de las referencias señaladas por especie.

***Referencias bibliográficas: I. Anteriores a 1990: 1. Branstetter (1987a); 2. Branstetter (1987b); 3. Branstetter (1987c). II. De los noventa en adelante: a. Uribe (1993); b. Peguero y García (1995); c. Zarate (1996); d. Arriola (1998); e. Márquez-Farías *et al.* (1998); f. Castillo (2001); g. Hoyos (2001); h. Rivera (2001); i. Aguilar (2002); j. Cruz-Martínez *et al.* (2004); k. Tovar-Ávila *et al.* (2009); l. Camhi *et al.* (2009); m. Piercy *et al.* (2010).

explotación. Con fragilidad biológica alta se clasificó a *R. terraenovae*, *C. falciformis*, *C. acronotus* y *N. brevirostris* (33.33%). El 41.67% (*C. limbatus*, *C. leucas*, *C. brevipinna*, *C. porosus* y *S. lewini*) se ubicó en una posición intermedia en cuanto a la capacidad de resistencia y respuesta ante regímenes de pesca intensos y prolongados. Finalmente, las cornudas *S. mokarran* y *S. tiburo*, presentaron fragilidad baja (Figura 2).

ÁREAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE TIBURONES

El análisis de complementariedad indicó que Bahía Ascensión y Espíritu Santo, Quintana Roo (cuadrante 10) es la región de mayor importancia con respecto a la distribución de especies con alta fragilidad (*C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. obscurus*, *N. brevirostris* y *R. terraenovae*), considerando la disponibilidad de información sobre biología reproductiva y edad y crecimiento. Además, Laguna de Términos, Campeche (*C. acronotus*, *C. obscurus*, *N. brevirostris* y *R. terraenovae*); Laguna Yalahau, Quintana

Roo (*C. acronotus* y *N. brevirostris*); La Mancha-Alvarado, Las Casitas, Chachalacas y Laguna Tamiahua en el estado de Veracruz (*C. falciformis*); y Laguna Madre y Playa Bagdad en Tamaulipas (*R. terraenovae*), son zonas prioritarias para la conservación de las poblaciones de tiburones más afectadas por la pesquería histórica, de acuerdo con los valores obtenidos en el Índice de Fragilidad Biológica (Figura 3).

Con base en el análisis de discrepancias se observó que ocho (88.89%) de las nueve regiones clave detectadas en el presente estudio coinciden con un Área Natural Protegida: Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo Tamaulipas (cuadrante 1 y 2), Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (cuadrante 3), Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (cuadrante 5 y 6), Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (cuadrante 8), Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (cuadrante 9) y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an

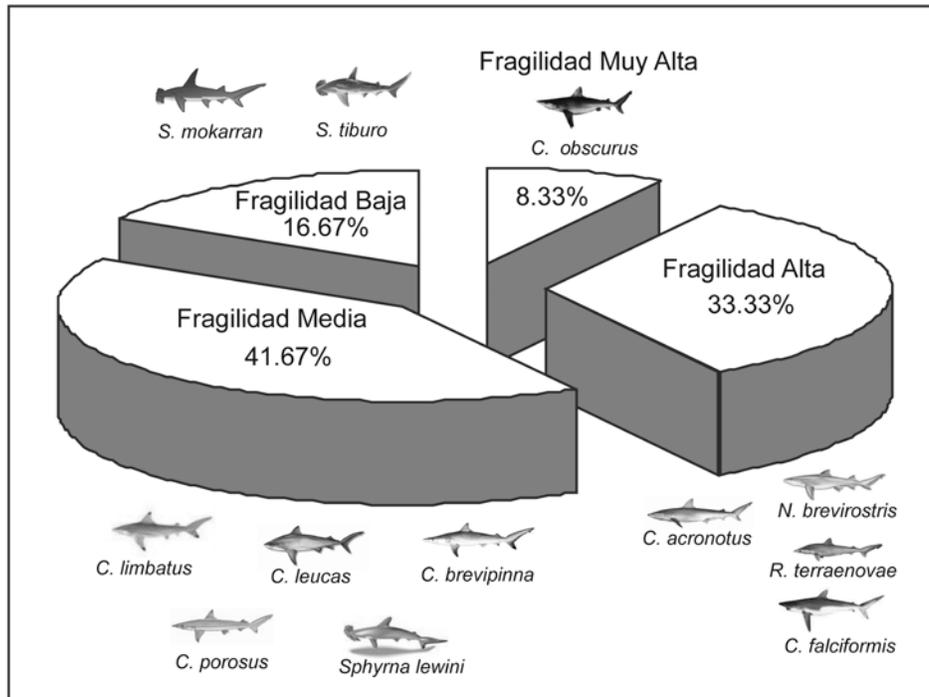


Figura 2. Fragilidad biológica de las especies de importancia comercial del Golfo de México.

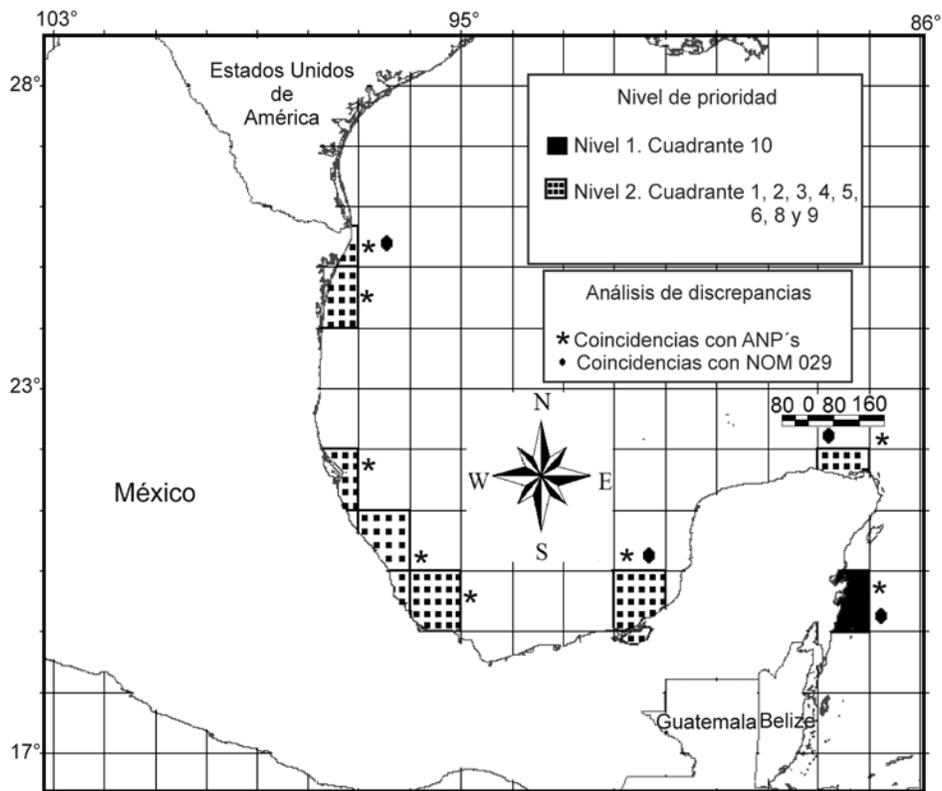


Figura 3. Áreas prioritarias de investigación y conservación para tiburones en el Golfo de México y análisis de discrepancias con base en Áreas Naturales Protegidas y Refugios Pesqueros incluidos en la NOM-029-PESC-2006.

(cuadrante 10). Mediante la comparación con los sitios de refugio destacados en la NOM-029-PESC-2006 (pesca responsable de tiburones y rayas: especificaciones para su aprovechamiento) se determinó que existe una coincidencia del 44.44% con las zonas prioritarias identificadas con el método de complementariedad (Playa Bagdad, Tamaulipas, Laguna de Términos, Campeche, Laguna de Yalahau y Bahía Ascensión-Espíritu Santo, Quintana Roo) (Figura 3).

DISCUSIÓN

FRAGILIDAD BIOLÓGICA DE LAS ESPECIES DE IMPORTANCIA COMERCIAL DE ACUERDO CON SUS CARACTERÍSTICAS DE CICLO DE VIDA

La función de crecimiento de von Bertalanffy (K) es uno de los criterios más importantes que definen la vulnerabilidad de una especie a sobrepesca, el cual de acuerdo con la clasificación de Branstetter (1991) su valor puede caer en los siguientes intervalos: de 0.05 a 0.1 año⁻¹ en especies de crecimiento lento; de 0.1 a 0.2 año⁻¹ en especies de crecimiento moderado; y de 0.2 a 0.5 año⁻¹ en especies de crecimiento rápido. En el caso de las 12 especies analizadas en el presente estudio, cuatro de ellas presentaron crecimiento de tipo lento (*C. obscurus*, *C. porosus*, *N. brevirostris* y *S. lewini*), cinco de tipo moderado (*C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *R. terraenovae* y *S. mokarran*) y tres de tipo rápido (*C. brevipinna*, *C. limbatus* y *S. tiburo*); sin embargo, la categoría propuesta por Musick (1999) se apega más a los resultados obtenidos en el presente análisis multiespecífico (Figura 2), debido a que los tiburones con una K menor a 0.15 tienen parámetros poblacionales que caracterizan a recursos con mayor posibilidad de sufrir un colapso al aplicarse niveles de esfuerzo pesquero que están por encima del Rendimiento Máximo Sostenible.

Los tiburones identificados con mayor fragilidad en cuanto a sus características biológicas reproductivas fueron *C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. obscurus*, *N. brevirostris* y *R. terraenovae*, por lo que se asume que estos han sido los más afectados a lo largo de la serie histórica de capturas en el Golfo de México a partir del análisis de evaluación rápida aplicado en el presente estudio. Incluso, para *C. obscurus*, Fowler *et al.* (2005) indican una disminución del stock a nivel global y el NMFS (1996) estimó una reducción poblacional para la costa oeste del Atlántico y Golfo de México de 50-75%. Sin embargo, en la actualidad es difícil obtener datos cuantitativos regionales sobre la disminución de las poblaciones explotadas comercialmente con los cambios

en los índices de abundancia relativa (Captura por Unidad de Esfuerzo, CPUE), debido al formato general incluido en las estadísticas oficiales de producción de los Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca (DOF, 2007a). Un ejemplo particular, corresponde a las cifras presentadas por el Grupo de Especialistas de la IUCN, ya que registraron un declive del 85% en los últimos 20 años para el género *Carcharhinus* en el Atlántico, pero no desglosaron cantidades por especie (Camhi *et al.*, 2009).

Para conocer las tendencias poblacionales y tratar de solventar la problemática anteriormente planteada, son necesarios estudios demográficos en el Golfo de México como los realizados por Márquez-Farías *et al.* (1998) y Cortés (2002) para dos especies de talla pequeña, *S. tiburo* y *R. terraenovae*, en las que estimaron valores de supervivencia de 55-81% y 55-79%, respectivamente, a partir de parámetros como la tasa neta reproductiva, variación del tiempo generacional, tasa intrínseca de incremento poblacional y el tiempo de duplicación poblacional.

A nivel internacional, Jiao *et al.* (2008) encontraron una reducción del 72% para la cornuda común (*S. lewini*) en el noroeste del Océano Atlántico, uno de los tiburones más estudiados por su frecuencia de aparición en las capturas. Para las ocho especies restantes (*C. acronotus*, *C. brevipinna*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *C. porosus*, *N. brevirostris* y *S. mokarran*) no existe bibliografía especializada sobre estimaciones que describan los tamaños efectivos poblacionales a partir de las fluctuaciones en la CPUE.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) ha evaluado 591 especies de tiburones y rayas para determinar su riesgo de extinción mediante la tasa de disminución, tamaño efectivo de la población, área de distribución geográfica y grado de fragmentación del stock. A nivel mundial, la IUCN determinó que el 21% de las especies está en peligro de extinción, el 18% casi amenazada y el 35% carece de información adecuada para realizar una evaluación precisa; esta tendencia prevalece para la mayoría de los integrantes del grupo de los elasmobranquios (Camhi *et al.*, 2009).

Con respecto a las 12 especies analizadas en el presente estudio, el Grupo de Especialistas en peces cartilaginosos de la IUCN, clasificó a seis en la categoría de Casi Amenazada, una en Vulnerable, dos con Preocupación Menor, una con Datos Insuficientes y dos en Peligro (Tabla 4) (Camhi *et al.*, 2009). En el modelo de evaluación rápida propuesto, *C. acronotus*, *C. falciformis*, *C. obscurus*, *N. brevirostris* y *R. terraenovae* fueron los tiburones con menor

potencial reproductivo, lo cual coincide con el dictamen técnico de Camhi *et al.* (2009), excepto para *R. terraenovae*, debido a que la IUCN la maneja como de preocupación menor (Tabla 4). La clasificación indicada anteriormente para esta investigación es compatible con los resultados de Cheung *et al.* (2005) en su sistema de estimación de la vulnerabilidad intrínseca de extinción basado en parámetros poblacionales de peces marinos (Tabla 4).

Se recomienda investigación oceanográfica, biológica y pesquera incluyendo posibles programas pilotos de marcado y recaptura de tiburones, análisis de isótopos estables, monitoreo acústico y técnicas genéticas para analizar el ADN mitocondrial que permitan inferir el tamaño efectivo

a sobreexplotación, ya que las características generales de ciclo de vida de los elasmobranquios los definen como organismos de bajo potencial reproductivo en comparación con los peces óseos (Jiao *et al.*, 2008; Camhi *et al.*, 2009; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009), mientras que *S. mokarran* (En Peligro) y *S. tiburo* (Preocupación Menor) se incluyeron en la categoría de fragilidad baja con la integración de la información biológica del litoral del Golfo de México (Tabla 4).

Con base en la revisión bibliográfica se detectó la carencia de estudios enfocados en la obtención de parámetros poblacionales para ocho especies (*C. longimanus*, *C. perezii*, *C. signatus*, *G. cirratum*, *G. cuvier*, *M. canis*, *S. asper* y *S. cubensis*)

Tabla 4. Estado de conservación de los tiburones de importancia comercial. VMA, Vulnerabilidad Muy Alta; VA, Vulnerabilidad Alta, VM: Vulnerabilidad Moderada.

ESPECIE	ESTADO DE CONSERVACIÓN		
	GRUPO DE ESPECIALISTAS EN TIBURONES DE LA IUCN (Camhi <i>et al.</i> , 2009)	Cheung <i>et al.</i> (2005)	PRESENTE ESTUDIO
<i>Carcharhinus falciformis</i>	Casi Amenazada	VMA	Fragilidad Alta
<i>Carcharhinus limbatus</i>	Casi Amenazada	VA	Fragilidad Media
<i>Carcharhinus obscurus</i>	Vulnerable A2bd	VMA	Fragilidad Muy Alta
<i>Carcharhinus leucas</i>	Casi Amenazada	VMA	Fragilidad Media
<i>Carcharhinus porosus</i>	Datos insuficientes	VMA	Fragilidad Media
<i>Carcharhinus brevipinna</i>	Casi Amenazada	VA	Fragilidad Media
<i>Carcharhinus acronotus</i>	Casi Amenazada	VA-VMA	Fragilidad Alta
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	Preocupación menor	VM-VA	Fragilidad Alta
<i>Negaprion brevirostris</i>	Casi Amenazada	VMA	Fragilidad Alta
<i>Sphyrna lewini</i>	En Peligro	VMA	Fragilidad Media
<i>Sphyrna tiburo</i>	Preocupación menor	VM-VA	Fragilidad Baja
<i>Sphyrna mokarran</i>	En Peligro	VMA	Fragilidad Baja

poblacional actual con métodos de coalescencia (Roman y Palumbi, 2003) para las cinco especies mencionadas anteriormente con fragilidad biológica alta.

Finalmente, para las especies restantes, *C. brevipinna* (Casi Amenazada), *C. leucas* y *C. limbatus*; *S. lewini* (En Peligro); y *C. porosus* (Datos Insuficientes) se clasificaron en la modalidad de fragilidad media en el presente análisis (Tabla 4), aunque esto no significa que no sean susceptibles

que forman parte de las capturas objetivo de tiburón en menores proporciones y que se enmallan en las redes de fondo utilizadas en la pesquería de escama y rayas (Tabla 5) (Hoyos, 2001; Rivera, 2001; DOF, 2010). Además, *M. canis*, *S. asper* y *S. cubensis* (datos insuficientes, Tabla 5) y las cornudas (*S. lewini* y *S. tiburo*, Tabla 3) en etapas juveniles pueden integrar la fauna de acompañamiento en los arrastres de camarón debido a los hábitos bentónicos de los cazones y a las áreas costeras de alimentación que frecuentan los

tiburones martillo durante sus primeras etapas de vida (Shepherd y Myers, 2005; Oviedo-Pérez *et al.*, 2006). Es importante que en los programas de investigación que se generen en el Golfo de México y Mar Caribe Mexicano se incluya el cálculo de los datos de entrada para las especies poco estudiadas en las regiones señaladas en la Tabla 5, principalmente en Laguna Términos, Campeche; Laguna Yalahau, Bahía Ascensión y Espíritu Santo, Quintana Roo; y el litoral veracruzano. Estas acciones contribuirán para que en futuros estudios de esta índole, se optimice el enfoque de manejo multispecífico.

concentraciones de invertebrados y peces, las que a su vez soportan poblaciones de depredadores tope, como los tiburones de mayor fragilidad biológica, cuando se acercan a la zona costera con fines reproductivos y de crianza en primavera y verano (Contreras, 1985; Castro, 1993; Peguero y García, 1995; Bonfil, 1999; Canché-Canché y Castellanos-Osorio, 2005).

Comparando la presente investigación entre las Áreas Naturales Protegidas del Golfo de México y del Caribe Mexicano se manifestó coincidencia del 88.89%, por lo que este porcentaje pone en evidencia el consenso que

Tabla 5. Áreas Prioritarias de Investigación propuestas para las especies que no fueron incluidas en el análisis multispecífico por la falta de parámetros poblacionales.

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	ÁREAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN*	PARÁMETROS SUGERIDOS**	REFERENCIAS
<i>Galeocerdo cuvier</i>	Tigre o tintorera	LY, BAyES	EM, K, TMAX	Zarate (1996)
<i>Carcharhinus longimanus</i>	Puntas blancas	MA, SP, LTER	EM, F, PG, K	Rivera (2001)
<i>Carcharhinus signatus</i>	Tiburón ojo verde	MA, LTER	Todos	Uribe (1993); Hoyos (2001)
<i>Carcharhinus perezi</i>	Tiburón de arrecife	LY, BAyES	EM, K, TMAX	Zarate (1996)
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	Gata o nodriza	LTER, LY, BAyES	EM, F, PG, K	Uribe (1993); Peguero y García (1995); Zarate (1996)
<i>Mustelus canis</i>	Cazón perro	CH, BAyES	EM, F, PG, K, TMAX	Zavala (1993); Zarate (1996)
<i>Squalus asper</i>	Cazón espinoso	BAyES	EM, F, PG, K, TMAX	Zarate (1996)
<i>Squalus cubensis</i>	Cazón bagre	LT, LC, CH	EM, PG, K, TMAX	Zavala (1993); Castillo (2001)

*Zonas: Laguna de Tamiahua (LT), Las Casitas (LC), Chachalacas (CH) y La Mancha-Alvarado (MA) Veracruz; San Pedro (SP) Tabasco; Laguna de Términos (LTER) Campeche; Laguna Yalahau (LY) y Bahía Ascensión y Espíritu Santo (BAyES) Quintana Roo.

**Parámetros poblacionales sugeridos en futuros estudios por especie del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano: EM, edad de madurez; F, fecundidad; PG, periodo de gestación; K, constante de crecimiento; L50, talla de madurez; y TMAX, talla máxima.

ÁREAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE TIBURONES

Los sitios prioritarios de investigación y conservación se detectaron en la región central y sur de Veracruz, la Sonda de Campeche (principalmente en Laguna Términos) y lagunas costeras de Quintana Roo, donde se presentan las zonas más importantes de surgencias y de escurrimiento superficial (aporte de ríos y estuarios adyacentes) que desembocan en el Golfo de México (Contreras, 1985; Day *et al.*, 1987), lo que coincide con lo indicado por Bonfil (1997, 1999). Posiblemente la alta productividad primaria de estos sitios permite el establecimiento de importantes

existe entre científicos y expertos en el área (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007), así como la importancia de las zonas descritas en el presente estudio para el proceso reproductivo a lo largo del ciclo de vida de los tiburones, de acuerdo con los resultados presentados por Bonfil (1999).

En la NOM-029-PESC-2006, se establecen las siguientes zonas de refugio para proteger el proceso de reproducción y nacimiento de tiburones en el Golfo de México: Laguna de Términos, Campeche, Ríos Usumacinta y Grijalva, Tabasco, Laguna de Yalahau, Bahías de Espíritu Santo, Ascensión y de Chetumal, Quintana Roo; y la Zona litoral frente a Playa Bagdad, Tamaulipas; estas reservas

también se sugieren en la Carta Nacional Pesquera y el libro Sustentabilidad y Pesca Responsable en México (SAGARPA, 2000; DOF, 2007a).

A pesar de la coincidencia del 44.44% detectada con el análisis de discrepancias entre los sitios mencionados anteriormente y las áreas prioritarias de investigación y conservación obtenidas con el método de complementariedad, la Norma no incluye las regiones relevantes del presente estudio correspondientes al litoral veracruzano (Laguna La Mancha-Alvarado, Laguna Tamiahua, Las Casitas y Chachalacas, Figura 3), que pueden ser consideradas como hábitats críticos para algunos carcharhínidos con fragilidad biológica alta. Además, su inclusión podría complementar las disposiciones actuales que rigen el marco regulatorio de los peces cartilaginosos.

El 11 de junio de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se modifica el aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, para establecer los periodos de veda de tiburones y rayas en el Océano Pacífico y tiburones en el Golfo de México (DOF, 2012).

Después de 70 años de pesquería formalmente establecida por fin se aplicó esta herramienta de manejo que tanto favorece a recursos de bajo potencial reproductivo (Sparre y Venema, 1998; FAO, 2001; Salomón-Aguilar y Villavicencio-Garayzar, 2011). La veda en el Golfo de México y Mar Caribe se concretó del 1 de mayo al 30 de junio de cada año y adicionalmente se implementó del 1 al 31 de agosto en el Banco de Campeche con base en la información disponible de áreas y temporadas de reproducción, alumbramiento y crianza por especie (DOF, 2007a; DOF, 2012).

Los sitios prioritarios de investigación que aquí se proponen mediante el análisis de complementariedad con las especies de mayor fragilidad biológica serán importantes para optimizar las futuras evaluaciones que realizará el Instituto Nacional de la Pesca con el objetivo de medir el grado de recuperación poblacional a partir de la aplicación de la veda.

Es fundamental que en México se comiencen a registrar los volúmenes de captura por especie en las bitácoras de pesca para contar con datos de biomasa que serán la base para evaluar las fluctuaciones poblacionales y definir futuros esquemas de manejo y regulación pesquera.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado a través de la beca # 8736.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C. 2002. Análisis biológico-pesquero del tiburón picudo *Carcharhinus brevipinna* (Müller y Henle, 1839) que habita las aguas costeras del Golfo de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 81 p.
- Arriola, M. 1998. Biología y pesquería del tiburón chato *Carcharhinus leucas* (Valenciennes, 1839), capturado en la pesca artesanal del Golfo de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 69 p.
- Bonfil, R. 1997. Status of shark resources in southern Gulf of Mexico and Caribbean: implications for management. *Fisheries Research* 29: 101-117.
- Bonfil, R. 1999. Marine protected areas as a Shark Fisheries Management Tool. *En: Seret, B. y J. Sire (eds.). Proceedings of the 5th Indo-Pacific Fish Conference, Noumea. Paris: Soc. Fr. Ichtyol. pp. 217-230.*
- Braccini, J., B. Gillanders y T. Walker. 2006. Hierarchical approach to the assessment of fishing effects on non-target chondrichthyans: case study of *Squalus megalops* in southeastern Australia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 2456-2466.
- Branstetter, S. 1987a. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the Northwestern Gulf of Mexico. *Copeia* 1987(4): 964-974.
- Branstetter, S. 1987b. Age, growth and reproductive biology silky shark, *Carcharhinus falciformis* and scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental of Biology of Fishes* 19(3): 161-173.
- Branstetter, S. 1987c. Age and growth of newborn sharks held in laboratory aquaria, with comments on the life history of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. *Copeia* 1987(2): 291-300.
- Branstetter, S. 1991. Shark life history: one reason sharks are vulnerable to overfishing. *En: Discovering Sharks. American Littoral Society, special publication 14: 29-34.*

- Camhi, M., S. Valenti, S. Fordham, S. Fowler y C. Gibson. 2009. The conservation status of pelagic sharks and rays: report of the IUCN Shark Specialist Group Pelagic Shark Red List Workshop. IUCN Species Survival Commission Shark Specialist Group. Newbury, UK. 78 p.
- Canché-Canché, V. y I. Castellanos-Osorio. 2005. Medusas (Cnidaria) de la Bahía de la Ascensión, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 15(1): 65-72.
- Castillo, J. 2001. Aspectos biológico-pesqueros de los tiburones que habitan las aguas del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 143 p.
- Castro, J. 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: 37-48.
- Cheung, W., T. Pitcher y D. Pauly. 2005. A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing. *Biological Conservation* 124: 97-111.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura. México, D. F. 129 p.
- Contreras, E. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca. México, D. F. 253 p.
- Cortés, E. 2002. Incorporating uncertainty into demographic modelling: application to shark populations and their conservation. *Conservation Biology* 16: 1048-1062.
- Cruz-Martínez, A., X. Chiappa-Carrara y V. Arenas-Fuentes. 2004. Age and growth of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, from Southern Gulf of Mexico. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 35: 367-374.
- Day, J., W. Conner, F. Ley-Lou, R. Day y A. Manchado. 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany* 27: 267-284.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2007a. Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas: especificaciones para su aprovechamiento. 14 de febrero de 2007. 32 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2007b. Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables. 24 de julio de 2007, Primera Sección. 25-60 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. 2 de diciembre de 2010. 319 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. Acuerdo por el que se modifica el Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994 para establecer los periodos de veda de pulpo en el Sistema Arrecifal Veracruzano, jaiba en Sonora y Sinaloa, tiburones y rayas en el Océano Pacífico y tiburones en el Golfo de México., 11 de junio de 2012, Segunda sección. 4 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2001. La ordenación pesquera: conservación y ordenación del tiburón. FAO orientaciones técnicas para la pesca responsable. Roma. 66 p.
- Fowler, S., R. Cavanagh, M. Camhi, G. Burgess, G. Cailliet, S. Fordham, A. Simpfendorfer y J. Musick. 2005. Sharks, rays and chimaeras: the status of the chondrichthyan fishes. IUCN/SSC Shark Specialist Group. 462 p.
- Helfman, G. S., B. B. Collette y D. E. Facey. 2000. The diversity of fishes. Blackwell Science Editorial. Massachusetts, USA. 528 p.
- Hobday, A., T. Smith y I. Stobutzki. 2004. Ecological risk assessment for the effects of fishing: methods final report, July 2004. Report to the Australian Fisheries Management Authority Canberra. Australia. 80 p.
- Hoyos, E. 2001. Las áreas de crianza de tiburones en Caribe y Golfo de México, con un enfoque especial en la Laguna de Yalahau, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 90 p.
- Humphries, C., R. Vane-Wright y P. Williams. 1991. Biodiversity reserves: setting new priorities for the conservation of wildlife. *Park* 2: 34-38.

- Jiao, Y., K. Reid y E. Smith. 2008. Model selection uncertainty and bayesian model averaging in fisheries recruitment modeling. *En: The future of fisheries science in North America*. Fish and Fisheries Book Series. United States of America. pp. 505-524.
- Kaly, U., L. Briguglio, H. McLeod, S. Schmall, C. Pratt y R. Pall. 1999. Environmental Vulnerability Index (EVI) to Summarize National Environmental Vulnerability Profiles. SOPAC Technical Report 275. Nueva Zelanda. 77 p.
- Márquez-Farías, J. F., J. L. Castillo-Géniz y M. C. Rodríguez-de la Cruz. 1998. Demografía del cazón pech, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 24(1): 13-34.
- Musick, J. A. 1999. Criteria to define extinction risk in marine fishes. *Fisheries* 24(12): 6-14.
- National Marine Fisheries Service (NMFS). 1996. Report of the shark evaluation workshop, June 1996. NOAA/NMFS, Southeast Fisheries Science Center, Miami. United States of America.
- Oviedo-Pérez, J., L. González-Ocaranza y L. Martínez-Cruz. 2006. Presencia de elasmobranchios en las operaciones de pesca de arrastre de camarón en el Litoral Veracruzano durante la veda 2006. II Simposium Nacional de Tiburones y Rayas (SOMEPEC). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Peguero, M. y G. García. 1995. Contribución al conocimiento de la biología de las especies de tiburón capturadas en aguas del estado de Campeche, México, durante la temporada de noviembre 1993 - abril 1994, con algunos aspectos sobre su pesca. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 137 p.
- Piercy, A. N., J. K. Carlson y M. S. Passerotti. 2010. Age and growth of the great hammerhead shark, *Sphyrna mokarran*, in the north-western Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research* 61(9): 992-998.
- Rivera, M. 2001. Aspectos biológicos y pesqueros de los tiburones pelágicos que habitan el Golfo de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 172 p.
- Roman, J. y S. Palumbi. 2003. Whales before whaling in the North Atlantic. *Science* 31: 508-510.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2000. Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo. Instituto Nacional de la Pesca. México, D. F. 1111 p.
- Salomón-Aguilar, C. A., C. J. Villavicencio-Garayzar y 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.
- Salomón-Aguilar, C. A. y C. J. Villavicencio-Garayzar. 2011. La fragilidad de tiburones de importancia comercial en el Pacífico mexicano: una herramienta para identificar especies susceptibles a sobre explotación. *En: Chávez-Comparán, J. C. y J. Mimbela-López (eds.). Avances sobre investigaciones marinas y acuícolas del Pacífico tropical mexicano. Volumen 2. Universidad de Colima, México. pp. 81-95.*
- Saunders, M. W. y G. A. McFarlane. 1993. Age and length at maturity of the female spiny dogfish, *Squalus acanthias*, in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. *Environmental Biology of Fishes* 38: 49-57.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE). 2001. Bases para el ordenamiento ecológico de la región del Mar de Cortés (componente social y económico). México, D. F. 40 p.
- Shepherd, T. D. y R. A. Myers. 2005. Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico. *Ecology Letters* 8: 1095-1104.
- Smith, A., E. Fulton, A. Hobday, D. Smith y P. Shoulder. 2007. Scientific tools to support the practical implementation of ecosystem-based fisheries management. *Journal of Marine Science* 64: 633-639.
- Sparre, P. y S. Venema. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1 Manual. Rev 2. FAO Fish Tech. Pap. 306/1 (Rev 2). FAO. Italia. 407 p.
- Stobutzki, I., M. Miller, D. Heales y D. Brewer. 2002. Sustainability of elasmobranchs caught as bycatch in a tropical prawn (shrimp) trawl fishery. *Fishery Bulletin* 100: 800-821.
- Stone, B. R., C. M. Bailey, A. S. McLaughlin, M. P. Mace y M. B. Schulze. 1998. Federal management of Atlantic shark fisheries. *Fisheries Research* 39: 215-221.

- Tovar-Ávila, J., V. Arenas-Fuentes y X. Chiappa-Carrara. 2009. Edad y crecimiento del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus*, en el Golfo de México. *Ciencia Pesquera* 17(1): 47-58.
- Uribe, J. 1993. Distribución, abundancia, estructura y biometría de especies de tiburones capturados en la Sonda de Campeche, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 99 p.
- Vane-Wright, R., C. Humphries y P. Williams. 1991. What to protect? Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.
- Walker, T. 1992. Fishery simulation model for sharks applied to the gummy shark, *Mustelus antarticus* (Günther), from southern Australian waters. *Australian Journal of Marine Freshwater Research* 43: 195-212.
- Walker, T. 2005. Management measures. *En*: Musick, J. A. y R. Bonfil (eds.). *Management techniques for elasmobranch fisheries*. FAO. Rome, Italy. pp. 216-242.
- Zárate, M. 1996. La pesquería de tiburones en la Bahía de la Ascensión, Quintana Roo, México (1993-1994) y su importancia como posible área de expulsión y crianza. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 62 p.
- Zavala, G. 1993. Descripción de la captura de tiburones durante la temporada de pampanillo 1991-1992 en Chachalacas, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 60 p.