



El Colegio de la Frontera Sur

Evaluación de Riesgo Ecológico de los Tiburones del sureste del Golfo de México

Tesis

presentada como requisito parcial para optar el grado de Maestro en
Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Ciencias de la Sustentabilidad

Por

Ilse Alejandra Martínez Candelas

2019

Dedicatoria

“A mi familia, en especial a mis papás que siempre me han apoyado por muy nerviosos que los ponga, a mis hermanos que son los mejores siempre, y al novio por tanto amor. “

Agradecimientos

Al Colegio de la Frontera Sur por darme una visión distinta del mundo, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de maestría.

A todos los pescadores que he tenido el gusto de conocer; sin sus historias, conocimiento, anécdotas, risas y regaños, no sería la persona que soy el día de hoy.

A mi director el M. en C. Iván Méndez Loeza, que me tuvo toda la paciencia del mundo, me dio la libertad para ser creativa y encontrar mis pasiones académicas, y que además de amistad me dejó grandes lecciones de vida.

Al resto de mi comité, al Dr. Juan Carlos Pérez Jiménez por sus enseñanzas, por no sacarme de la clase, y por siempre estar disponible para resolver mis dudas; al Dr. Alejandro Espinoza, por no tachar de locura mis ideas, por escucharme y apoyarme, y por reírse de mis ensayos y títulos tanto como yo.

A mis sinodales, la Dra. Loren McClenachan por ayudarme a mejorar mi trabajo y hacer de mi estancia una gran experiencia; y al Dr. Unai Marcaida y al Dr. Iván Hernández por sus invaluable comentarios.

A Edwin y Arantxa que llenaron mi tiempo en Campeche de risas, alegrías, wipitis, bailes, cantos, futbol (no sé cómo), pláticas de lo más menso y de lo más serio, y por una amistad que trasciende estados, selvas, playas y ciudades.

A esas personas que me cuidaron en los peores momentos, Flor, gracias por esa sopita cuando fue necesaria; y Angelina gracias por los cuidados en mi peor momento, y esa guardia en el hospital.

A Paco, gracias por quitarme el miedo a entrevistar, un poco drástico, pero se agradece; a Pamela gracias por el buen consejo en todo momento, y por estar los dos siempre.

A mis compañeros de maestría y al laboratorio de Ecología Pesquera, por las experiencias vividas y el tiempo compartido.

A los amigos que estaban lejos pero siempre se sintieron cerca, Issa, Ximmo, Cindy, Carla, Caro, Dianela, Luis, Kafu, Alekz, Victor y Licha. En especial a Bogard, que la amistad no para de fluir.

A mi exlaboratorio de algas, qué, aunque todos vimos que las algas no eran mi pasión, la amistad se dio cual arribazón de sargazo, Isa, Óscar y Luisa. Gracias a Kurt y Abel que siempre tendrán mi admiración y gratitud.

Para los maravillosos amigos que esta maestría puso en mi vida, por las visitas y todo lo increíble y desafiante que es tener una amistad a la distancia, Neto, Marco, Oscar, Ghelen, Marussia, y Gaby, gracias por compartir muchas hinchazones y risas, y películas, y todo juntos.

A Tim, Holly, Oliver y Harper por hacerme sentir en casa en otro país, con todo y cervecitas Pacífico, y tardes de té y Netflix.

No podía faltar Juancho que casi me ve convertirme en maestra, y fue el mejor del mundo 15 años.

Contenido

Resumen	i
Capítulo I	3
1. Introducción	3
1.1 Estado global de las pesquerías de tiburones	3
1.2 Evaluación de Riesgo Ecológico.....	4
1.3 Uso de datos históricos	5
1.4 Pesquería de tiburón en el Golfo de México	6
2. Estado del Conocimiento	10
3. Justificación	13
4. Pregunta de Investigación	13
5. Hipótesis.....	14
6. Objetivos.....	14
6.1 Objetivo General	14
6.2 Objetivos particulares	14
Capítulo II	15
Use of historical data to assess changes in the vulnerability of sharks	15
Abstract.....	15
2. Methods.....	20
2.1 Study Area	20
2.2 Historical characterization and description of the main time periods of the shark fishery.....	21
2.3 Selection of species to assess	22
2.4 Productivity and Susceptibility Analysis	23
2.5 Data Analysis.....	26
3 Results.....	26
3.1 Historical characterization and time periods for the shark fishery of Campeche....	26
3.3 Productivity and Susceptibility Analysis	29
4. Discussion.....	31
4.1. Historical context.....	31

4.2. Integrating historical data into the PSA.....	32
4.3. Vulnerability and its changes over time	33
4.4 Final considerations.....	40
Acknowledgements	41
References	41
Figure Legends.....	58
Tables	59
Capitulo III	74
Conclusiones.....	74
Referencias	76
Anexos	83
1. Entrevista realizada a los pescadores de Campeche	83

Resumen

Las poblaciones de tiburones han disminuido significativamente a nivel mundial, por lo tanto, es necesario realizar evaluaciones que permitan un manejo adecuado. Sin embargo, la falta de perspectiva histórica en el manejo de pesquerías ha provocado el colapso de algunas de ellas. La falta de datos de captura por especie en el Golfo de México, dificulta el realizar evaluaciones pesqueras convencionales. El objetivo de este trabajo es determinar los cambios en vulnerabilidad de las especies utilizando el Análisis de Productividad y Susceptibilidad (PSA por sus siglas en inglés), integrando el conocimiento ecológico local y la ecología histórica en el proceso de análisis. Se realizó una caracterización histórica utilizando artículos científicos, literatura gris y conocimiento ecológico local para definir los principales períodos históricos de la pesquería. Se encontró que, en el primer período, “Comercialización local” (1942-1979), las especies presentaron los valores de vulnerabilidad más bajos gracias a la baja demanda y la poca tecnología pesquera disponible, sólo *Sphyrna mokarran* presentó valores de vulnerabilidad altos debido a sus características biológicas. Durante el período de “Industria desarrollada” (1980-1998) todas las especies aumentaron su vulnerabilidad a causa del incremento y mejora de las embarcaciones y equipos; nueve especies obtuvieron por primera vez valores de vulnerabilidad alta, *Negaprion brevirostris* alcanzando el mayor. En el período de “Industria en declive” (1999-2018), se registró una disminución en la vulnerabilidad gracias al aparente abandono de la actividad por parte de la mayoría de los pescadores debido a la reducción de las capturas de gran parte de las especies, sin embargo *S. mokarran*, *N. brevirostris*, *Carcharhinus leucas* y *Ginglymostoma cirratum* mantuvieron valores de vulnerabilidad alta en este período. Este análisis permitió entender el porqué de los cambios en la vulnerabilidad a partir de un contexto histórico.

Palabras clave: Vulnerabilidad, Análisis de Productividad y Susceptibilidad, Pesquería de Tiburones, Conocimiento Ecológico Local, Ecología Histórica

Abstract

Shark populations have declined worldwide, however, the lack of data for most species makes it difficult to use conventional population assessments to estimate their status. The productivity and susceptibility analysis (PSA) has been recommended for elasmobranchs as it is a data-poor assessment that uses the best available information of the species and their fisheries in order to determine their vulnerability. The shark fishery in Campeche has a long history that has been recorded in grey literature, scientific papers and through local ecological knowledge. A historical characterization was performed to define its most important periods and conduct a modified Productivity and Susceptibility Analysis (PSA) to determine the vulnerability of the eleven most important commercial species of sharks in each period. The main periods were defined as: local commercialization (1942-1979), where all the species had their lowest vulnerability values, and only *Sphyrna mokarran* was classified as highly vulnerable for its biological characteristics; developed industry (1980-1998) in which there was an increased fishing pressure, the small species changed from low to moderate vulnerability and the large coastal sharks scored their highest vulnerability values; and finally the declining industry (1999-2018), where all the species had lower vulnerability values than in the developed industry period, but *Carcharhinus leucas*, *Negaprion brevirostris*, *S. mokarran* and *Ginglymostoma cirratum* were still classified as highly vulnerable and could be suffering the accumulative effects of decades of fishing pressure.

Keywords: Shark fishery, Productivity and Susceptibility Analysis, Historical Ecology, Data-poor fishery, Local Ecological Knowledge

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Estado global de las pesquerías de tiburones

A nivel mundial las poblaciones de tiburones han disminuido de manera significativa (Ferretti et al. 2010; Worm et al. 2013). En el Golfo de México, se estima que esta disminución ha sido de un 90% aproximadamente para los tiburones pelágicos y entre un 67% y 76% para aquellos de hábitos costeros (Baum y Myers 2004; Shepherd y Myers 2005).

A pesar de la disminución de las poblaciones de tiburones, aún existe una gran demanda por sus productos, lo cual representa un problema para su sostenibilidad (Davidson et al. 2016). Esto, en conjunto con la destrucción de su hábitat y las características de su historia de vida, tales como maduración tardía, baja tasa de fecundidad y gran longevidad (Musick 1999; Walker 2005), ha provocado que una cuarta parte de los tiburones estén clasificados como amenazados y se encuentren en un riesgo alto de extinción, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Dulvy et al. 2014).

A partir de los anuarios estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), Worm et al. (2013) demostraron que se están capturando tiburones a un mayor ritmo y volumen del que son capaces de recuperarse para mantener las poblaciones estables. Sin embargo, los autores reconocen que estas estimaciones deben ser tomadas con cautela por la incertidumbre que reflejan los datos de captura por especie (e.g., grandes volúmenes de captura incidental y no registrada). De ahí que mejorar los datos pesqueros es un reto global, pues si bien existen esfuerzos para cuantificar la captura de tiburones y su disminución poblacional, la falta de datos por especie limita los esfuerzos para su conservación (FAO 2014). Por ejemplo, según información disponible en la UICN, cerca del 38% de las especies de tiburones que habitan en el oeste del Atlántico central están clasificadas como con datos insuficientes.

1.2 Evaluación de Riesgo Ecológico

De manera convencional las pesquerías se evalúan utilizando series de tiempo de captura y esfuerzo por especie, las cuales permiten conocer los efectos de la pesca sobre la biomasa de las poblaciones (Walker 2005). Estas series de tiempo de captura y esfuerzo son usadas para determinar la composición de especies de una pesquería, tasas de explotación, mortalidad por pesca y captura por unidad de esfuerzo (CPUE), con el fin de conocer el estado de una población (Morgan y Burgess 2005). Sin embargo, son pocas las pesquerías a nivel mundial que poseen la información necesaria para realizar este tipo de evaluaciones (Chrysafi y Kuparinen 2015).

A causa de la gran complejidad de las pesquerías y de la falta de datos necesarios para realizar evaluaciones cuantitativas convencionales, se desarrolló la Evaluación de Riesgo Ecológico por Efecto de la Pesca (ERAEF por sus siglas en inglés), que permite conocer qué especies se encuentran en mayor riesgo de ser sobreexplotadas (Hobday et al. 2004).

La ERAEF es un modelo jerárquico de tres niveles que tiene como fin determinar la vulnerabilidad de las especies, es decir, aquellas que se encuentran en mayor riesgo ante la pesca. En el primer nivel se realiza una evaluación cualitativa llamada Análisis de Escala, Intensidad y Consecuencias (SICA por sus siglas en inglés), basada generalmente en la opinión de expertos. Si la especie resulta con un riesgo medio o alto se pasa al segundo nivel de la ERAEF, que es semicuantitativo y es conocido como análisis de productividad y susceptibilidad (PSA por sus siglas en inglés).

El PSA determina la vulnerabilidad de las distintas especies respecto a la pesca con base en sus características biológicas (productividad) y los efectos de la pesquería sobre las especies (susceptibilidad). El análisis, al identificar aquellas especies que son más vulnerables a la sobrepesca, permite hacer recomendaciones y enfocar futuros esfuerzos de investigación para poder abordar el tercer y último nivel de la evaluación, en donde se realizan evaluaciones cuantitativas convencionales, como

los análisis demográficos (Cortés et al. 2010; Patrick et al. 2010; Hobday et al. 2011; Gallagher et al. 2012).

Ya que el PSA determina la vulnerabilidad, es decir, el riesgo de las especies a ser sobreexplotadas, y a la falta de datos necesarios para realizar evaluaciones cuantitativas, la mayoría de las ERAEF llegan únicamente hasta este nivel. Este análisis es de gran utilidad ya que nos permite distinguir las diferencias en vulnerabilidad de las especies a pesar de estar sometidas a la misma presión de pesca, o la vulnerabilidad de las mismas especies en áreas distintas (Tovar-Ávila et al. 2016).

Otra de las ventajas de este segundo nivel de la ERAEF, es que puede ser modificada para reflejar mejor los impactos de las pesquerías locales (Furlong-Estrada et al. 2017), plantear escenarios tomando en cuenta las proyecciones realizadas para el cambio climático (Chin et al. 2010) e incluso complementarlo con herramientas como los sistemas de información geográfica (Clarke et al. 2018) y el conocimiento ecológico local (Roux et al. 2019) a fin de realizar evaluaciones con mayor información, por lo que es una herramienta que está en continua evolución y mejora.

1.3 Uso de datos históricos

El ser humano ha interactuado con el medio ambiente desde su aparición, y los océanos han sido parte fundamental del desarrollo de las civilizaciones (Erlandson 2001). No obstante, en la actualidad se pueden observar las consecuencias de la larga historia de la explotación de los recursos marinos. La ecología histórica surge de la necesidad por comprender los efectos acumulativos de las actividades humanas sobre los ecosistemas (Kittinger et al. 2015). Esta disciplina toma información de distintas fuentes, incluyendo el conocimiento ecológico local (CEL), las colecciones de museos, notas periodísticas e inclusive las no tradicionales como recetas de cocina y relatos hablados, para entender la condiciones actuales de los recursos a partir de un contexto histórico, con el fin de mejorar las estrategias de manejo, conservación y definir metas de restauración (Thurstan et al. 2015).

En el caso de las pesquerías un problema importante en su manejo es la falta de retrospectiva histórica (Jackson et al. 2001). Pauly (1995) resalta que para la mayoría de las pesquerías del mundo no existe un registro detallado de su historia, y aunque se tienen relatos, éstos han sido calificados como meramente anecdóticos, por lo que no han sido tomados en cuenta en el manejo de las pesquerías. Esta ausencia o descalificación de datos históricos ha provocado que se definan como línea base las condiciones que los científicos pudieron observar al principio de su carrera, sin considerar el efecto acumulativo de la explotación sobre las pesquerías de años previos (Sáenz et al. 2005). Este sesgo ha dado como resultado el colapso de varias pesquerías a nivel mundial a pesar de ser cuidadosamente estudiadas (Jackson et al. 2001).

Debido a la falta de datos para el estudio y manejo de las pesquerías, se ha reevaluado la importancia del conocimiento de los pescadores también conocido como conocimiento ecológico local (CEL), el cual ha demostrado ser una importante y eficiente herramienta para conocer los cambios en la composición de las capturas, la distribución de las especies y disminución o aumento en la abundancia de éstas a través del tiempo (Drew 2005; Silvano and Valbo-Jørgensen 2008; Espinoza-Tenorio et al. 2010; Ainsworth 2011; Espinoza-Tenorio et al. 2013; Turvey et al. 2013; Beaudreau and Levin 2014; Sáenz-Arroyo y Revollo-Fernández 2016) En lo que se refiere a tiburones el CEL ha sido útil para establecer líneas base en pesquerías donde no existe información previa (Jabado et al. 2015) y se ha comenzado a utilizar en conjunto con otros tipos de información histórica para determinar la magnitud de la disminución de sus poblaciones (Ferretti et al. 2018).

1.4 Pesquería de tiburón en el Golfo de México

Existe una problemática general en el Golfo de México para evaluar las poblaciones de tiburones; si bien los estudios concuerdan en que ha ocurrido una disminución general en las poblaciones de las distintas especies de tiburones, la falta de datos de capturas por especie y la incertidumbre en la calidad de los que existen, ha provocado que los resultados de los estudios varíen respecto a la magnitud de esta disminución (Baum et al. 2003; Burgess et al. 2005; Myers et al. 2007).

En lo que respecta a México, se ha registrado una disminución del 10% del 2001 al 2013 en los registros oficiales de captura de tiburones y cazones en el Golfo de México según la Carta Nacional Pesquera (Diario Oficial de la Federación 2017). Esta es una pesquería de gran importancia, pues representa una de las principales fuentes de proteína para las poblaciones locales debido al bajo precio de la carne; ya que aproximadamente el 80 % de las capturas son consumidas de manera local, lo que la convierte en una actividad económica y cultural relevante (Castillo-Géniz et al. 1998).

A pesar de su importancia, es hasta el 2007 que se establece una regulación nacional por medio de la NOM-029-PESCA-2006 (Diario Oficial de la Federación 2007), en la que se incorpora un sistema de bitácoras oficiales donde se solicita a los permisionarios registrar la captura y composición por especies por mes para las embarcaciones menores, y diario para las de mediana altura y de altura, además de información referente al equipo de pesca. Sin embargo, a poco más de diez años de la publicación de esta Norma, las estadísticas oficiales de captura de tiburones agrupan a los organismos en dos grandes categorías: tiburones cuando tienen un tamaño mayor a los 1.5 metros y cazones si son menores a esa longitud (SAGARPA 2017). Esta agrupación no permite evaluar las tendencias poblacionales por especie (Pérez-Jiménez y Mendez-Loeza 2015) y, a pesar de que se disponen registros mensuales por especie por estado en el periodo 2006-2014, existe incertidumbre en la información por el uso de múltiples nombres comunes por especie (https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad).

1.4.1 Pesquería de tiburón en Campeche

Campeche es un estado del Sureste del Golfo de México que se caracteriza por su tradición pesquera, al aprovechar recursos como el camarón, los peces de escama (Arreguín-Sánchez et al. 2017) y la pesquería de tiburón (Castillo-Géniz et al. 1998). De las aproximadamente 5,000 toneladas de tiburón y cazón que se obtienen del Golfo de México y Caribe, según la Carta Nacional Pesquera, Campeche ocupa el tercer lugar en volumen de captura (Diario Oficial de la Federación 2017).

Desde antes de la llegada de los españoles, la pesca de tiburón ha sido una actividad cotidiana para los habitantes de Campeche, así lo demuestran los vestigios arqueológicos a lo largo del estado (Newman 2016), y desde esa época hasta antes de los ochentas se utilizaron embarcaciones conocidas como cayucos, construidas a partir de un solo tronco de madera de 4 a 8 m, utilizando equipos de pesca simples, como arpones y redes henequén (Barba-Meinecke 2014).

Con el paso del tiempo estos cayucos se fueron modificando para poder utilizar velas y posteriormente motores. Debido a la falta de tecnología necesaria para mantener los productos frescos y a la simplicidad de las embarcaciones, éstas no se alejaban a más de 20 millas de la costa y la mayor parte de los tiburones y cazones se consumían de forma local (Barba-Meinecke 2014).

A partir de los años setentas, con el impulso a la industria pesquera dado por el gobierno y a los créditos otorgados por BANPESCA (Espinoza-Tenorio et al. 2011), se pudo apreciar un aumento notable en el número de pescadores y de embarcaciones, y una mejora en la calidad de las mismas (Uribe-Martínez 1984; Hernandez y Kempton 2003; Espinoza-Tenorio et al. 2011).

Desde inicios de los ochentas, hubo interacción entre varios tipos de embarcaciones en la pesca de tiburón, desde cayucos, pasando por lanchas, tanto de madera como de fibra de vidrio, hasta embarcaciones de mediana altura de madera, fibra de vidrio y metal; en consecuencia, hubo un aumento en las capturas de tiburón como fue registrado por Uribe-Martínez (1984).

Es también durante este período que se construyen plantas procesadoras de tiburón, donde se aprovechaban las distintas partes de los tiburones, desde el hígado, hasta la piel y las aletas, fomentando la explotación de estos organismos. Es desde esta época que los centros de investigación recomendaban estudiar más a fondo la biología y ecología de estos organismos, ya que las características de su historia de vida los hacen vulnerables a la pesca (Uribe-Martínez 1984; Uribe-Martínez 1993). Por lo que proponen establecer estrategias de manejo, así como una mejora en la forma de registro de las capturas (Bonfil 1997).

El desarrollo histórico de la pesca de tiburón en Campeche refleja tendencias similares a otras pesquerías en distintas partes del mundo, iniciando como pesca de subsistencia y desarrollándose comercialmente hasta notar una disminución de las capturas (Ferretti et al. 2008; Ferretti et al. 2018). En el Golfo de México se registró una disminución importante durante la década de los noventa (Baum et al. 2003; Baum y Myers 2004). A partir de 1995, distintos organismos científicos probaron que la pesca, en lugar de estar aumentando como se pensaba, estaba disminuyendo, dando como resultado el colapso de varias pesquerías a nivel mundial (Pauly 1995; Espinoza-Tenorio et al. 2011).

En la actualidad la pesquería de tiburón en Campeche se compone en su mayor parte por embarcaciones de pequeña escala y se caracteriza por ser una actividad compleja que involucra la captura de alrededor de 20 especies en pesquerías dirigidas, incidentales y multiespecíficas. Esta heterogeneidad junto con la falta de registros confiables de captura y esfuerzo hace que su evaluación y manejo sea extremadamente difícil (Bonfil 1997; Pérez-Jiménez y Mendez-Loeza 2015).

Debido a la necesidad de realizar evaluaciones que permitan conocer el estado actual de las especies de tiburón y a la falta de una retrospectiva histórica que permita conocer los impactos de la pesca a través del tiempo en las poblaciones de tiburones del sureste del Golfo de México, se plantea desarrollar una evaluación de riesgo ecológico por efectos de la pesca (ERAEF) mediante un análisis de productividad y susceptibilidad (PSA) que integre la historia de la pesquería, se apoye en la información disponible en artículos científicos y literatura gris, y se complemente con conocimiento ecológico local.

De esta forma, se evaluarán las especies capturadas en la pesquería de tiburón en los períodos más importantes de la pesquería, es decir, 1) cuando únicamente existía un comercio local, 2) cuando se convirtió en una industria desarrollada con exportaciones a otros estados del país, e internacionales, y finalmente 3) el periodo actual, con una industria en declive; y así comparar si existe un cambio en la vulnerabilidad de aquellas especies que fueron y/o que son capturadas en el sureste del Golfo de México.

2. Estado del Conocimiento

El desarrollo de las evaluaciones de riesgo ecológico surge de la necesidad por entender cómo ciertas actividades o amenazas afectaban las especies o comunidades de las cuales no necesariamente existía gran cantidad de datos (Hobday et al. 2004). Se utilizó a la pesquería de camarón del norte de Australia como caso de estudio para conocer la susceptibilidad y la capacidad de recuperación de los elasmobranquios y de serpientes marinas que eran capturadas incidentalmente por esta pesquería (Milton 2001; Stobutzki et al. 2002) sentando las bases para los análisis de productividad y susceptibilidad (PSA).

Desde finales de los noventa Punt y Walker (1998) intentaron evaluar la vulnerabilidad de los tiburones ante la pesca, por lo que Walker (2005) tiene un acercamiento basado en la propuesta de Stobutzki et al. (2002), pero con los conceptos clave de “susceptibilidad de captura” (tomada como la interacción entre la disponibilidad, la posibilidad de encuentro, la selectividad del equipo de pesca y la mortalidad postcaptura de los organismos) y “productividad biológica” que serían cruciales para la evolución del análisis de productividad y susceptibilidad y de las evaluaciones de riesgo ecológico.

Hobday et al. (2004) tomaron como base las evaluaciones de riesgo ecológico (ERA por sus siglas en inglés) que eran utilizadas para determinar las posibles consecuencias de una actividad sobre el objeto de evaluación (conocer los efectos de la contaminación en un ecosistema), adaptándolas a las pesquerías con el fin de conocer los impactos de esta actividad, ya sea en un ecosistema completo, en una especie o en conjunto de especies en particular, creando las evaluaciones de riesgo ecológico por efecto de la pesca (ERAEF).

Debido a la eficacia de la ERAEF, el gobierno Australiano integró el análisis al manejo de las pesquerías desde el enfoque ecosistémico, ya que por medio del PSA, se puede identificar a las especies más vulnerables a la sobreexplotación (Scandol et al. 2009), por lo que se realizaron varios reportes técnicos donde se revisó desde la metodología hasta el efecto de pesquerías específicas (Hobday et al. 2007; Walker et al. 2007; Wayte et al. 2007).

Posteriormente Hobday et al. (2011) publicaron de manera detallada esta metodología y demuestran la eficacia de la ERAEF al evaluar el efecto de las 31 pesquerías de Australia, donde después de cada nivel de evaluación disminuyeron el número especies y hábitats en riesgo, pasando de 600 especies en el primer nivel hasta 25 después del tercer nivel de evaluación.

El estudio de Cortés et al. (2010) sobre las pesquerías pelágicas de palangre en el Atlántico ilustra cómo se puede realizar una ERAEF, llevando la evaluación hasta el tercer nivel, al disponer de suficientes datos cuantitativos; además de demostrar la efectividad del análisis al comparar la vulnerabilidad de los tiburones frente a las distintas pesquerías de palangre.

Patrick et al. (2009) determinaron la vulnerabilidad de seis pesquerías en Estados Unidos mediante un PSA o el segundo nivel de la ERAEF; basándose en este reporte posteriormente publicaron la metodología (Patrick et al. 2010) que se volvió relevante debido a que evaluaron la calidad de la información disponible y disminuyeron y ponderaron el número de atributos de susceptibilidad y de productividad para evitar que fueran redundantes.

Mediante información obtenida por observación directa o proporcionada por los pescadores, Furlong-Estrada et al. (2017) fueron capaces de cambiar atributos tanto de productividad como de susceptibilidad del segundo nivel de la ERAEF, es decir, el PSA, para incluir aspectos característicos de los tiburones y de la pesquería en el oeste de la costa de Baja California y realizar un análisis más detallado de la pesquería local.

Las evaluaciones de riesgo ecológico han demostrado ser una buena opción para el estudio de los elasmobranquios, por lo que a nivel mundial hasta el 2012 se habían realizado 15, los cuales se pueden dividir en dos categorías: aquellos que analizaban exclusivamente una o más especies de elasmobranquios y aquellos que hacían un análisis a nivel comunidad o ecosistema que incluía a más de un taxa (Gallagher et al. 2012).

Para México se han realizado distintas evaluaciones, la mayoría de ellas enfocadas en el Golfo de California, para conocer la diferencia en la vulnerabilidad de las especies mexicanas que están en el apéndice II del CITES, ya sea que se encuentren en el Pacífico, en el Golfo de México o en el Caribe (Furlong-Estrada et al. 2014; Tovar-Ávila et al. 2016; Furlong-Estrada et al. 2017; Saldaña-Ruiz 2017). Este tipo de evaluaciones son de gran utilidad en países como México, donde no se cuenta con gran cantidad de datos de las pesquerías de tiburones.

Este modelo de evaluación tiene la capacidad de ser muy flexible, por lo que ha sido modificado para conocer el riesgo de las especies, no sólo ante la pesca sino también ante situaciones como el cambio climático, lo que permite determinar qué especies son más vulnerables al aumento de temperatura proyectado para los próximos cien años (Chin et al. 2010).

A la fecha se siguen explorando nuevas formas de innovar las evaluaciones de riesgo ecológico, desde el análisis de los atributos de productividad de los PSA para conocer cómo afecta la inclusión u omisión de ciertos atributos (Duffy y Griffiths 2017), hasta el uso de dichas evaluaciones en conjunto con nuevas herramientas como los sistemas de información geográfica (Clarke et al. 2018), e incluso la integración de la información histórica (Saldaña-Ruiz 2017), para complementar los resultados.

En la actualidad se ha tratado de integrar tanto el CEL como la información histórica a las evaluaciones de las pesquerías, ya que ambas fuentes representan puntos de referencia que permiten conocer cómo ha cambiado el ambiente, y determinar posibles metas de conservación (Mcclenachan et al. 2012; Ferretti et al. 2018, Roux et al. 2019).

Para tiburones existen pocos trabajos como el de Jabado et al. (2015), quienes integraron el conocimiento ecológico local para la caracterización de la pesquería de tiburones en el Mar Rojo, y por medio de entrevistas generaron información acerca de la composición y tamaño de las capturas y de sus cambios en el tiempo, mientras que para el PSA se ha comenzado a integrar el conocimiento ecológico

local para realizar estudios que reflejen tanto las condiciones sociales como biológicas de las pesquerías locales (Roux et al. 2019).

3. Justificación

Debido a la importancia económica de la pesquería de tiburón en Campeche, es necesario realizar evaluaciones poblacionales por especie. Sin embargo, hay varios aspectos que dificultan esta tarea, desde la falta de registros oficiales de captura y esfuerzo por especie, hasta la gran complejidad que caracteriza la pesquería de tiburones.

Para afrontar esta problemática se han desarrollado modelos de evaluación para situaciones de datos insuficientes, entre ellos el Análisis de Productividad y Susceptibilidad (PSA), que evalúa la vulnerabilidad de las especies ante la pesquería en relación a sus características biológicas y al efecto de la pesca sobre cada especie.

La versatilidad del método PSA permite integrar herramientas sociales como el uso del conocimiento ecológico local para comparar la vulnerabilidad de las especies en los principales períodos históricos de la pesquería y así conocer la eficacia del análisis.

El conocer la historia de la pesquería y realizar un PSA para sus principales períodos históricos: “Comercio local”, “Industria desarrollada”, e “Industria en declive” nos permite conocer las consecuencias de la explotación pesquera sobre las especies de manera semicuantitativa por medio de un valor de vulnerabilidad, además de brindarnos información que permite planear estrategias de conservación y manejo a futuro.

4. Pregunta de Investigación

¿Ha cambiado la vulnerabilidad de las especies de tiburones del sureste del Golfo de México a través del tiempo en relación a la pesquería de la zona?

5. Hipótesis

La vulnerabilidad de los tiburones en el sureste del Golfo de México ha cambiado a través del tiempo como consecuencia de los cambios en la industria pesquera y por las características de su historia de vida.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad de los tiburones por efecto de la pesquería en el sureste del Golfo de México, mediante un análisis de productividad y susceptibilidad, y comparar la vulnerabilidad de las especies en los principales períodos históricos de la pesquería.

6.2 Objetivos particulares

Describir los principales períodos históricos de la pesquería de tiburón.

Determinar la productividad de los tiburones mediante sus atributos biológicos.

Determinar la susceptibilidad de los tiburones ante la pesca en sus principales períodos históricos.

Determinar la vulnerabilidad de los tiburones en sus principales períodos históricos.

Comparar la vulnerabilidad de las especies de tiburones entre los distintos períodos.

1 Capítulo II

2

3 Use of historical data to assess changes in the vulnerability of sharks
4 Martínez-Candelas I.A.¹, Pérez-Jiménez J.C.¹, Espinoza-Tenorio A.¹,
5 McClenachan L², Méndez-Loeza I.^{1*}

6 ¹El Colegio de la Frontera Sur (www.ecosur.mx), Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad
7 Industrial, CP. 24500, Lerma, Campeche, México.

8 ²Environmental Studies Program, Colby College (www.colby.edu), Waterville
9 Maine, ME 04901, USA.

10 Emails: Martínez-Candelas I.A (iamartinez@ecosur.edu.mx), Pérez-Jiménez J.C
11 (jcperez@ecosur.mx), Espinoza-Tenorio A. (aespinoza@ecosur.mx),
12 McClenachan L (lemcclen@colby.edu), Méndez-Loeza I. (imendez@ecosur.mx)

13 *Corresponding author: imendez@ecosur.mx

14 Abstract

15

16 Shark populations have declined worldwide, however, the lack of data for most
17 species makes it difficult to use conventional population assessments to estimate
18 their status. The productivity and susceptibility analysis (PSA) has been
19 recommended for elasmobranchs as it is a data-poor assessment that uses the
20 best available information of the species and their fisheries in order to determine
21 their vulnerability. A historical characterization was performed to define the most
22 important periods for the shark fishery in Campeche, southern Gulf of Mexico, and
23 conduct a modified PSA to determine the vulnerability of the eleven most important
24 commercial shark species in each period. The periods were defined as: local
25 commercialization (1940-1979), where all species had their lowest vulnerability
26 values, and only *Sphyrna mokarran* was classified as highly vulnerable for its
27 biological characteristics; developed industry (1980-1998) in which there was an
28 increased fishing pressure, the small species changed from low to moderate
29 vulnerability and the large coastal sharks scored their highest vulnerability values;

30 and the declining industry (1999-2018), where all species had lower vulnerability
31 values than in the developed industry period, but *Carcharhinus leucas*, *Negraprion*
32 *brevirostris*, *S. mokarran* and *Ginglymostoma cirratum* were still classified as highly
33 vulnerable and could be suffering the accumulative effects of decades of fishing
34 pressure. This multidisciplinary approach serves to identify the most vulnerable
35 species throughout the history of the fishery and to understand the vulnerability
36 values within a historical context, avoiding the shifting baseline syndrome.

37 Keywords: Shark fishery, Productivity and Susceptibility Analysis, Historical
38 Ecology, Data-poor fishery, Local Ecological Knowledge

39 Highlights

40 First time historical data is integrated in PSA avoiding shifting baseline syndrome.

41 Local ecological knowledge used to fill information gaps of the shark fishery.

42 Shark fishery periods: local commercialization, developed industry and declining
43 industry.

44 Lowest vulnerability of sharks in “local commercialization” and “declining industry”
45 periods.

46 Highest vulnerability of sharks in the “developed industry” period.

47 1. Introduction

48 With the widespread decline of sharks in all oceans, the conservation and
49 management of their populations has become increasingly important (Dulvy et al.
50 2017). Sharks are vulnerable to overexploitation as a result of their life history

51 characteristics such as late maturity, low fecundity and high longevity (Musick,
52 1999; Walker, 2005, 1998). In addition, there is a big market for shark products
53 worldwide, which has led to a general concern due to population declines (Dulvy et
54 al., 2014; Worm et al., 2013).

55 Fisheries undergo a series of changes throughout their history. These changes
56 revolve around the effort, fishing gear, targeted species and volume of the catches
57 (Ferretti et al., 2018, 2008; Selgrath et al., 2018; Sguotti et al., 2016). For sharks,
58 all of these changes can be seen reflected in the vulnerability of their populations,
59 especially on coastal species that have a long history of exploitation due their
60 closeness to human communities (Ferretti et al., 2008; Jabado et al., 2015; Lotze
61 et al., 2006), resulting in a decrease in their captures (Ferretti et al., 2018; Nadon
62 et al., 2012; Roff et al., 2018).

63 A general problem to assess shark populations is the lack of information (Cortés et
64 al., 2015; Dulvy et al., 2017). The productivity and susceptibility analysis (PSA) is a
65 semi-quantitative method for data-poor fisheries that has been recommended to
66 study elasmobranchs because it estimates the vulnerability, defined as the risk of
67 overexploitation of the species, based on their biological characteristics and their
68 interaction with fisheries (Gallagher et al., 2012; Hobday et al., 2011; Patrick et al.,
69 2009, 2010).

70 In developing countries such as Mexico, shark fisheries lack long data series of
71 catch and effort records by species (Saldaña-Ruiz et al., 2017). Instead the
72 species are classified only by their size, in “small sharks” (<150 cm) and “large
73 sharks” (>150 cm) in the national fisheries statistics (Pérez-Jiménez and Mendez-

74 Loeza, 2015). This classification has led to the use of data-poor methods like the
75 PSA, which has been applied to evaluate different shark species in the Gulf of
76 California and for the species listed in Appendix II of CITES in Mexican waters
77 (Furlong-Estrada et al., 2017, 2014; Tovar-Ávila et al., 2016).

78 The PSA has been modified for different purposes, to assess the species response
79 to stressors such as climate change (Chin et al., 2010), to highlight which species
80 are in urgent need of a stock assessment (Osio et al., 2015), to include information
81 that reflects local conditions of the fisheries (Furlong-Estrada et al., 2017), or to
82 improve the management of small-scale fisheries integrating local ecological
83 knowledge (LEK), when scientific data is scarce, incomplete or inexistent (Roux et
84 al., 2019). However, despite the benefits of PSA in data-poor situations, the
85 analysis is fishery-specific under present fishing conditions (Osio et al., 2015),
86 therefore the PSA cannot evaluate if the vulnerability of sharks has changed
87 through the history of the fishery, making it easy to fall in the “shifting baseline
88 syndrome” (Pauly, 1995; Saenz-Arroyo et al., 2005).

89 One of the most challenging issues in ecology and conservation is the
90 reconstruction of community and population baselines for marine animals (Ferreti
91 et al. 2018), including endangered and threatened shark populations (Roff et al.
92 2018). Modern scientific data rarely goes back more than a few decades, like the
93 case of the shark fisheries in Mexico, resulting in large information gaps necessary
94 to understand the long-term effects of exploitation on different species, hence the
95 need to include historical data (Mcclenachan et al., 2012; Thurstan et al., 2015).

96 When historical data is used to evaluate shark populations it can determine their
97 decrease and highlight which species have been affected the most by human
98 pressures (Ferretti et al., 2010, 2008; Ward-Paige et al., 2010). Historical
99 information may come from a great variety of sources (Thurstan et al., 2015), like
100 LEK, that has already been used in fisheries to assess population trends when
101 there is no quantitative data available (Early-Capistrán et al., 2018; Saenz-Arroyo
102 et al., 2005; Sáenz-Arroyo and Revollo-Fernández, 2016; Turvey et al., 2013), and
103 to establish baselines through the characterization of fisheries (Jabado et al.,
104 2015).

105 The state of Campeche, in the southern Gulf of Mexico, is the third largest shark
106 producer in the Mexican Atlantic (Diario Oficial de la Federación 2017). and has a
107 long shark fishing tradition that dates back to pre-Columbian times (Newman,
108 2016), which is reflected in the cultural and culinary importance of the fishery, as
109 sharks are an important protein source for the habitants of the state (Castillo-Géniz
110 et al., 1998).

111 There is grey literature describing the shark fishery in the state of Campeche
112 during the 1940s (De la Peña, 1942), technical reports and scientific papers since
113 1984 (Bonfil, 1997; Castillo-Géniz et al., 1998; Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza,
114 2015; Uribe-Martínez, 1984), and several fishers that experienced the development
115 of this fishery are still alive, which allows to characterize the fishery thoroughly and
116 to fill the information gaps for the missing decades of grey literature and scientific
117 research with LEK. The integration of information from different sources allows to

118 describe the historical changes in the fishery and the effects they had in the
119 vulnerability of sharks over time.

120 This study integrates historical data and local ecological knowledge in a PSA for
121 the first time, in order to assess the changes in the vulnerability of sharks in the
122 southern Gulf of Mexico. This new multidisciplinary approach serves as a good
123 example to identify vulnerable species in data-poor fisheries and understand the
124 current vulnerability values and the consequences of the fishery within a historical
125 context, avoiding the shifting baseline syndrome.

126 2. Methods

127 2.1 Study Area

128 The state of Campeche is located in the southern Gulf of Mexico, and is part of the
129 Yucatan peninsula. It limits with the Gulf of Mexico in the west shore and the state
130 of Yucatan to the north and northeast, Quintana Roo to the east, and Tabasco and
131 the Republic of Guatemala to the south (Posada-Vanegas et al., 2013).

132 Campeche has a narrow continental shelf on the west with terrigenous sediments
133 and a broad carbonate platform to the east that extends to the Campeche Bank,
134 which has an area of approximately 129 500 Km². This marine area is
135 characterized for its high primary productivity and coral reefs, which support a
136 great diversity of marine life and habitats (Soto et al., 2014; Yáñez-Arancibia et al.,
137 1999); the Terminos Lagoon is south of the Campeche Bank and has an area of
138 approximately 2 500 Km² with a great variety of estuarine habitats including
139 seagrasses and mangroves, that a large number of species use as nursery areas
140 (Yanez-Arancibia et al. 1988).

141 Campeche has a small scale shark fishing fleet composed of small outboard motor
142 boats 7.9- 9 m in length, small inboard motor boats 8-10 m in length, and a
143 medium size fleet of inboard motor boats 15-18 m (Pérez-Jiménez and Mendez-
144 Loeza, 2015), the composition of the shark catches consists mainly on species with
145 coastal habitat preferences (Uribe-Martínez and Murillo 1991).

146 There are 20 shark species of commercial interest reported for Campeche (Bonfil,
147 1997), but fishers focus mainly on small size sharks (total length <150 cm), mainly
148 *Rhizoprionodon terraenovae* and *Sphyrna tiburo*, and on few large sharks (total
149 length >150 cm), mostly *Sphyrna lewini*, *Sphyrna mokarran*, *Carcharhinus limbatus*
150 and *Carcharhinus leucas* (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015; Uribe-
151 Martínez, 1995).

152 The study was conducted in the fishing ports with the highest shark catches,
153 according to the technical reports (Uribe-Martínez, 1984), and where it was
154 possible to find fishers that had experienced the changes in this fishery (Fig.1).

155 2.2 Historical characterization and description of the main time periods of the shark 156 fishery

157 Information about the shark fishery in Campeche was gathered using scientific
158 papers, grey literature, and LEK. Fishers, permit holders and fishing traders were
159 interviewed in the main shark fishing ports of Campeche from February to August
160 of 2018, using the snowball sampling method (Goodman, 1961) to look for the
161 most the experienced and well-versed in the shark fishery residents in each
162 community.

163 The time periods were determined based on information collected from scientific
164 papers (Bonfil, 1997; Castillo-Géniz et al., 1998; Pérez-Jiménez and Mendez-
165 Loeza, 2015), grey literature (Uribe-Martínez, 1984; Uribe-Martínez and Murillo,
166 1991) and LEK. Each time period was defined by the development of the fishery
167 considering the fishing effort, which was based on the type of fishing gears and
168 vessels used for the shark fishery.

169 LEK was used to determine the end of the first time period, because there were no
170 scientific papers or official reports that documented the changes in fishing gear and
171 vessels. LEK was also used in conjunction with official catch records that recorded
172 the decline of shark captures (Diario Oficial de la Federación, 2012) to establish the
173 beginning of the last time period.

174 2.3 Selection of species to assess

175 The species selection was done using the information from the scientific papers
176 and official reports that described the species distributed in Campeche since the
177 eighties, and particularly those species that were easily distinguished by fishers in
178 order to estimate their catch susceptibility through the time periods.

179 The methodology used by Jabado et al. (2015) was modified to determine which of
180 the 20 commercial shark species registered for the state of Campeche (Bonfil,
181 1997) could be easily recognized by the fishers using photographs. For this
182 purpose, pilot interviews were conducted in four communities showing photographs
183 without mentioning the name and asking the interviewees if they recognized the
184 shark species, and what was its common name in Mayan or Spanish.

185 Eleven species were selected, grouping blacktip and spinner sharks (*C. limbatus*
186 and *Carcharhinus brevipinna*) in a single category, and the two large
187 hammerheads (*S. mokarran* and *S. lewini*) in another, because only the most
188 experienced fishers could distinguish between them with only photographs. The
189 species in each group had similar susceptibility to the fishery, but they were
190 differentiated by their biological characteristics in the productivity and susceptibility
191 analysis (PSA).

192 The semi-structured interviews to fishers, permit holders and fishing traders had
193 the objective to get detailed information of the shark fishery, including the changes
194 they had seen over time, in order to measure the catch susceptibility for each
195 species or groups of species in each time period. The interviews had two main
196 components a) interviewees' background information, such as age, origin, shark
197 fishing experience in the area and why they kept or stopped fishing sharks; b)
198 specific information about each shark species, including changes in the fishing
199 areas and gears used, their maximum catch and year, if they considered that the
200 species abundance had increased, decreased or remained stable over the years,
201 and the last time they caught a specimen. Each interview could last from 40
202 minutes up to 2 hours, as fishers were free to give any specific details.

203 2.4 Productivity and Susceptibility Analysis

204 In order to assess the vulnerability of 11 shark species in the shark fishery of
205 Campeche, a PSA by species for each time period was conducted, following the
206 framework by Patrick et al. (2010). To assess if the PSA could estimate an
207 expected high vulnerability for species that are classified as critically endangered

208 by IUCN and currently extirpated from the study area (Bonfil et al. 2018), *Pristis*
209 *pristis* and *Pristis pectinata*, were added to the analysis.

210 Vulnerability is expressed as a function of productivity (P), or the ability of the
211 population to recover from overexploitation, and susceptibility (S), or the propensity
212 to be caught by fishing practices and not survive the interaction (Cortes et al.,
213 2015). The values of P and S of the species analysed were determined scoring a
214 set of standardized attributes for each factor in a range of 1 to 3 (Patrick et al
215 2009).

216 Productivity was scored using ten attributes (Table 1); to better distinguish between
217 the life history strategies of elasmobranchs (Osio et al. 2015; Furlong-Estrada et
218 al.2017), two attributes suggested by Patrick et al. (2010) were removed for the
219 lack of information. These attributes were breeding strategy and recruitment
220 pattern, which were replaced by the reproductive cycle and size at maturity. The
221 information for the productivity scores is based on the species biological
222 characteristics and was taken from scientific literature, so the scores remained the
223 same for all the time periods.

224 The susceptibility attributes were modified from the framework proposed by Patrick
225 et al. (2010) in order to evaluate the impact of the historical fishing regime in the
226 identified periods (Table 2). The information from LEK, scientific and grey literature,
227 and authors' knowledge was integrated into 7 of the 10 susceptibility attributes
228 (marked with * in Table 2) to make them comparable between the different time
229 periods. As proposed by Furlong-Estrada (2017), when the information was not
230 available for the southern Gulf of Mexico, it was obtained from other areas in the

231 following order of priority: areas near the South of Gulf of México, studies in the
232 Western Atlantic, other regions of the Atlantic, studies in other oceans and, finally,
233 borrowing information from similar taxa.

234 Two new attributes were added to estimate susceptibility: type of fishing vessel,
235 that describes the type, material and size of the vessels which could be cayucos
236 (type of canoe made out of a single tree measuring 4-8 m), small (7.5-10 m) and
237 medium sized (15-18 m) boats; and fishing technology, that defines the type of
238 fishing gear used and the presence or absence of motors or sails (Table 2). The
239 attributes of fishing rate, biomass of spawners, and impact of fisheries on essential
240 fish habitat were not included due the lack of information, and survival after the
241 capture and release was not included because all shark species in the fishery are
242 commercially important (Pérez-Jiménez and Méndez-Loeza, 2015).

243 Previous applications of the PSA have relied on scientific expert knowledge to
244 score the susceptibility attributes (Cope et al., 2011; Patrick et al., 2010). In the
245 present study, the fishery information for susceptibility came from three sources:
246 grey and scientific literature, LEK, and the authors' knowledge. Many of the
247 changes in the fishery were not recorded punctually in the literature, so LEK was
248 used in conjunction to grey and scientific literature to establish the impacts of the
249 fishery in the first two periods (local commercialization and developed industry),
250 while the authors' knowledge and LEK was used to determine the current impact of
251 the fishery (declining period). The overall scores of productivity and susceptibility
252 attributes were divided into three categories: low (1 to 1.67), medium (1.68 to 2.34)

253 and high (2.35 to 3), the weighting of the attributes was done based on the authors'
254 knowledge.

255 2.5 Data Analysis

256 The values of P and S were plotted in a X-Y scatter graph and vulnerability was
257 estimated as the Euclidean distance between the origin and the productivity and
258 susceptibility coordinates (Patrick et al., 2010) using the formula:

$$259 \quad V = \sqrt{(P - 3)^2 + (S - 1)^2}$$

260 The PSA v1.4 software (NOAA, 2010) was used to estimate vulnerability. The
261 vulnerability values were categorized as: $V \geq 2$, species with high vulnerability; 1.8
262 $\leq V < 2.0$, species with medium vulnerability; and $V < 1.8$ species with low
263 vulnerability, in order to compare the vulnerability values with other studies from
264 Mexico. The data quality of each attribute was scored from 1 (best data) to 5 (no
265 data available) (Table 3).

266 3 Results

267 3.1 Historical characterization and time periods for the shark fishery of Campeche

268 Shark fishing has been a common activity in Campeche as in the rest of the
269 Yucatan Peninsula even before pre-Columbian times, but the gear and vessels
270 used have changed dramatically since its beginnings (Barba-Meinecke, 2014;
271 Newman, 2016). There are three main time periods the local commercialization
272 period (1942-1979), developed industry period (1980-1998), and the declining
273 industry period (1999-2018).

274 During the initial stage or local commercialization period (1940-1979): most of the
275 fishing gear was made with natural materials, such as cotton or henequen, and
276 harpoons were commonly used. Cayucos were the most popular fishing vessels. At
277 the beginning , most fishers used sails but they gradually transitioned to motors
278 (Carranza, 1959; Castro-Aguirre, 1965; De la Peña, 1942; Hernández-Carvallo,
279 1965; Marín, 1964). According to the interviewees there were between 5 to 10
280 fishers in each community that targeted sharks all year. The limitations of the small
281 vessels and the lack of powerful motors limited fishing trips to a night and no more
282 than 20 miles offshore. During these years, sharks were preserved by salting the
283 meat. Therefore, there was only a local market for shark meat and its products
284 (Barba-Meinecke, 2014; Rubio-Cisneros et al., 2018).

285 After the “March towards the sea” policy taken by the Mexican government in the
286 1950s (Espinoza-Tenorio et al., 2011), the government started to focus on the
287 fishing industry. However, it was not until the 1970s that the government made a
288 serious effort to prompt people to move close to the sea and focus on fishing,
289 giving them boats, motors, nets or money to improve their fishing equipment
290 (Espinoza-Tenorio et al., 2011; Hernandez and Kempton, 2003; Rubio-Cisneros et
291 al., 2018), and establishing shark processing plants (Uribe-Martínez, 1984) leading
292 to the developed industry period. .

293 During the developed industry period (1980-1998) there was an increase in the
294 fishing effort. There were technological advances that allowed people to fish
295 further, and, there were new types of gear. Fishers replaced the natural fiber nets,
296 and harpoons with multifilament and monofilament nets, and bottom longlines.

297 There was an increase in the autonomy of the fishing vessels, which could stay out
298 fishing for longer time periods (Espinoza-Tenorio et al., 2011; Rubio-Cisneros et
299 al., 2018). At the beginning of this period there were around eight thousand small
300 boats potentially used to catch sharks in the state of Campeche (Uribe-Martínez
301 and Murillo 1991).

302 In the declining industry period (1999-2018), there was a gradual but continuous
303 loss of shark catches (Diario Oficial de la Federación, 2012) which caused the
304 reduction of the shark fishing fleet (Perez-Jiménez and Mendez-Loeza). Fishers
305 started fishing further from the shore (Rubio-Cisneros et al., 2018) and spending
306 more time out in the sea. Only around 200 small boats targeted small sharks
307 seasonally in 2014 (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015).

308 In total 61 interviews were conducted in northern (n=11), central (n=22), and
309 western Campeche (n=28), in 10 fishing communities. Of the fishers interviewed 50
310 % started fishing sharks after 1980, when it became a developed industry, and not
311 a single interviewee started after 1997, 43.4 % stopped fishing sharks from the
312 beginning of the twenties to the date the interviews were made, when there was a
313 decline in the captures 43.4 % stopped before 2000, and the remaining 13.2 %
314 keeps fishing sharks.

315 3.2 Species evaluated

316 The shark species were divided in two groups according to their size, small sharks
317 (<150 cm in total length) and large sharks (>150 cm in total length), and both
318 sawfish species (*Pristis*) in a separate group (Table 5).

319 3.3 Productivity and Susceptibility Analysis

320 3.3.1 Productivity and Susceptibility

321 The value for the productivity attributes did not change in the different time periods,
322 as there are no local studies that suggest any changes in the biological parameters
323 of the species. The small sharks were the most productive species ($P > 1.9$) having
324 medium values ($P = 1.68-2.34$), while the large sharks and *Pristis* species had low
325 values ($P < 1.68$) (Table 6).

326 The susceptibility attributes reflected the changes through time as the equipment,
327 vessels and fishing areas changed in the three fishing periods (Table 6). The
328 attributes whose values remained constant for the three time periods were
329 migrations, aggregations and morphology affecting capture.

330 During the local commercialization period all of the species had their lowest
331 susceptibility values, with medium scores ($S = 1.68-2.34$). In the developed industry
332 period all the shark species increased their susceptibility scores, resulting in high
333 susceptibility ($S > 2.34$), except *Galeocerdo cuvier* which had a medium score
334 ($S = 1.68-2.34$). The susceptibility decreased for all shark species during the
335 declining industry period; *G. cuvier* had a low score ($S < 1.68$), the rest of the large
336 sharks and the small shark *C. acronotus* had medium scores ($S = 1.68-2.34$), the
337 other small sharks *R. terraenovae* and *S. tiburo* had high scores ($S = 2.35$). The
338 *Pristis* species did not have a susceptibility score for the declining industry period
339 because they were already extirpated from the area.

340 3.3.2 Vulnerability

341 The vulnerability by species changed in the different time periods of the fishery
342 (Table 6). *Ginglymostoma cirratum*, *C. leucas* and *Negaprion brevirostris* changed
343 from moderate vulnerability ($V = 1.8-2$) in the local commercialization period to high
344 ($V > 2$) in the remaining periods. *Sphyrna mokarran*, *P. pectinata* and *P. pristis* had
345 high vulnerability ($V > 2$) in the all periods they were present. *Carcharhinus*.
346 *brevipinna*, *C. limbatus* and *S. lewini* had low vulnerability ($V < 1.8$) in the local
347 commercialization period, high vulnerability ($V > 1.8$) during the developed industry
348 period, and moderate vulnerability ($V = 1.8-2$) in the declining industry period.
349 *Rhizoprionodon terraenovae*, *S. tiburo*, *C. acronotus* and *G. cuvier* had low
350 vulnerability ($V < 1.8$) in the local commercialization period, changed to moderate
351 ($V = 1.8-2$) vulnerability in the developed industry period and low vulnerability
352 ($V < 1.8$) in the declining industry period (Fig 3).

353 In the local commercialization period 46% of the species had low vulnerability ($V <$
354 1.8), 31% had moderate scores $1.8 \leq V < 2.0$, and the remaining 23% of the
355 species had high vulnerability $V \geq 2$. The species with the highest scores were *P.*
356 *pristis* ($V = 2.17$) and *P. pectinata* ($V = 2.11$) and the species with the lowest
357 scores were *C. acronotus* ($V = 1.39$) and *R. terraenovae* ($V = 1.45$).

358 During the developed industry period there was not a single species with low
359 vulnerability, because 69% of the species were highly vulnerable and only 31%
360 were moderately vulnerable. *Pristis pristis* ($V = 2.42$) and *N. brevirostris* ($V = 2.39$)
361 had the highest vulnerability, and *R. terraenovae* ($V = 1.82$) and *C. acronotus* ($V =$
362 1.87) having the lowest vulnerability.

363 For the declining industry period, only the 11 shark species were assessed (*Pristis*
364 species were not included), 36% of the species had low vulnerability, 27% were
365 moderately vulnerable, and 36% were considered as highly vulnerable. The
366 species with the highest vulnerability were *S. mokarran* ($V = 2.19$) and *N.*
367 *brevirostris* ($V = 2.19$), and the ones with the lowest vulnerability were *G. cuvier*
368 (1.61) and *R. terraenovae* (1.63).

369 3.4 Data Quality

370 The data quality values ranged between 1.81 and 2.22 for the productivity
371 attributes, with *G. cuvier*, *G. cirratum* and *S. mokarran* having the highest values as
372 there is a lack of local studies. For the susceptibility data, the values were higher in
373 the local commercialization period because some of the attributes were scored
374 only through the use of LEK but the values ranged between 1.59 and 1.89, with the
375 *Sphyrna* species having the highest values. In the developed industry and
376 declining industry periods the values ranged between 1.41 and 1.81 with the small
377 sharks having the lowest values (Table 6).

378 4. Discussion

379 4.1. Historical context

380 The development of the shark fishery in Campeche seems to resemble the history
381 of other fisheries in the rest of the world. There was an initial stage where it was a
382 subsistence fishery, with a small local market and basic equipment, then a
383 developed stage where technology and commercialization increased as well as the
384 landings and fishing pressure, and finally a declining stage where there was a
385 decrease in the abundance of sharks and their catches (Ferretti et al., 2018;

386 Selgrath et al., 2018). These stages belong to the three main time periods
387 identified in the present study as: local commercialization, developed industry and
388 declining industry.

389 All of the interviewees, described the great abundance of sharks during the local
390 commercialization and developed industry periods, and the reduction of catches
391 during the declining industry period. According to the interviewees the decrease of
392 catches during the declining industry period forced shark fishers to focus on other
393 profitable species (finfish, crustacean or mollusk species), leaving only a few of
394 them focusing on targeting small sharks seasonally, such as *R. terraenovae*, *S.*
395 *tiburo*, *C. acronotus* or the large shark *C. leucas* (Pérez-Jiménez and Mendez-
396 Loeza, 2015).

397 4.2. Integrating historical data into the PSA

398 The PSA is commonly used and modified to evaluate data-poor fisheries (Furlong-
399 Estrada et al., 2017; Osio et al., 2015) which allows to include historical data.

400 Some of the limitations to incorporate historical data are, the difficulty in gathering
401 the information from different sources (old books, reports, photographs,
402 anecdotes), and then integrating it in order to be used or analyzed (Mcclenachan et
403 al., 2012). The PSA was modified to add two attributes: type of fishing vessel and
404 fishing technology.

405 The two attributes included represent a substitute for effort measurement, because
406 modern gear is more efficient, and the use of motors, fiber glass boats, and in
407 some cases GPS equipment, allows fishers to have more and better fishing
408 grounds. As proposed by Selgrath et al. (2018), trends in fishing gear employed

409 can be used to identify tendencies in fishing intensification and infer fishing
410 impacts, as in the present study.

411 4.3. Vulnerability and its changes over time

412 Mexico is the sixth larger producer of sharks and rays worldwide, and it is believed
413 internationally that the national management measures are insufficient to protect
414 these species (Dulvy et al., 2017). Of the eleven shark species assessed almost
415 half are considered near threatened (55%), while the remaining species are
416 classified as endangered (18%), least concern (18%), and data deficient (9%). Only
417 *S. tiburo* shows a stable population trend (Cortes et al., 2016), while for the other
418 species it is unknown or classified as decreasing by the IUCN.

419 Meta-analysis suggests that IUCN categories align well with fisheries reference
420 points, with critically endangered and endangered species being likely to be
421 unsustainably fished (Dulvy et al., 2017). Of the species assessed only two are
422 classified as endangered, *S. mokarran* that had high vulnerability for the three time
423 periods, and *S. lewini* that only had high vulnerability values in the developed
424 industry period, when there was an intense fishing pressure. The rest of the
425 species that had high vulnerability values in any of the time periods are classified
426 as nearly threatened (*C. brevipinna*, *C. limbatus*, *C. leucas*, *N. brevirostris*) or data
427 deficient (*G. cirratum*).

428 Despite sharks being vulnerable (Musick, 1999) not all of the species respond the
429 same way to fishing pressure, because the most productive species (e.g. small
430 sharks), can support certain levels of fishing pressure with an appropriate
431 management plan (Simpfendorfer and Dulvy, 2017; Walker, 1998). In this study,

432 the small sharks, *R. terraenovae*, *S. tiburo* and *C. acronotus* had some of the
433 lowest vulnerability values and continue to be the most commonly caught species
434 in (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015), nevertheless most fishers noted that
435 *C. acronotus* and *S. tiburo* have become increasingly rare in some regions. This
436 may have important implications for the local fisheries, as these three species are
437 the main target species (Castillo-Géniz et al. 1998; Pérez-Jiménez and Mendez-
438 Loeza 2015).

439 The decrease in catches of *S. tiburo* could be a result of the fishing pressure during
440 the developed industry period. In this period *S. tiburo* had the highest susceptibility
441 values among the three small sharks and a moderate vulnerability. Although *S.*
442 *tiburo* is cataloged by the IUCN as a least concern species with a stable population
443 trend (Cortes et al. 2016), in the technical reports (Uribe-Martínez, 1995, 1984),
444 this species was the most commonly caught small shark species in Campeche
445 during the developed industry period, while in most recent records *R. terraenovae*
446 is the most frequently caught species (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015).
447 *Carcharhinus acronotus* also experienced an increase in susceptibility during the
448 developed industry period. Globally, the population trend of this species is
449 decreasing (Morgan et al., 2009), probably because of its life history
450 characteristics; with low number of offspring (3.13 on average) (Sulikowski et al.,
451 2007), and a biennial cycle estimated in the Atlantic (Driggers et al., 2004).

452 *Carcharhinus limbatus* and *C. brevipinna* are both migratory species (Kohler et al.,
453 1998) that are classified as near threatened (Burgess, 2009; Burgess and
454 Branstetter, 2009). *Carcharhinus brevipinna* has been reported to be seasonally

455 present in other areas (Drymon et al., 2010) and *C. limbatus* has shown philopatry
456 and has a nursery area north to the coast of Campeche in the Yalahau
457 Lagoon, Yucatan (Hueter et al., 2007; Keeney et al., 2005).

458 According to the interviewees and reports (Uribe-Martínez and Murillo, 1991) *C.*
459 *brevipinna* and *C. limbatus* were commonly caught seasonally and in large
460 quantities during their migrations. Fishers mentioned they had special nets (called
461 “jaquetonera”) to catch them. Both species were highly vulnerable during the
462 developed industry period and fishers report a decrease in their catches probably
463 as a result of decades of intense fishing pressure.

464 For *S. lewini* there was an increase in the vulnerability from moderate in the local
465 commercialization period to high in the developed industry period and then
466 moderate during the declining industry period. This species is considered important
467 for the shark fishery in every time period studied (Bonfil, 1997; Pérez-Jiménez and
468 Mendez-Loeza, 2015; Uribe-Martínez, 1995). The coastal and semipelagic habits
469 of this species (Compagno, 2002) put it at greater risk of extinction (Dulvy et al.,
470 2014) Dulvy et al. (2017) consider that *C. limbatus* and *S. lewini* are a priority for
471 conservation as *S. lewini* is captured both in high-seas and coastal fisheries, and
472 *C. limbatus* is captured in poorly regulated multispecies coastal fisheries.

473 Recent studies showed that coastal species are more exposed to the combined
474 threats of fishing and habitat degradation than those in pelagic and deep water
475 ecosystems. Thus, large-bodied species reliant on coastal and shallow waters
476 have a higher risk of extinction (Dulvy et al. 2014). Three large-bodied (>2.5m total
477 length) species (*G. cirratum*, *C. leucas*, and *N. brevirostris*) inhabit coastal waters

478 (Compagno, 2002). Therefore, these species are more susceptible to fisheries,
479 which made them moderately vulnerable during the local commercialization period,
480 and highly vulnerable during the developed and declining industry periods (Bonfil,
481 1997; Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015; Uribe-Martínez, 1984).

482 The vulnerability of *G. cirratum*, classified as data deficient by the IUCN with a
483 unknown population trend (Rosa et al., 2006), changed from moderate in the local
484 commercialization period to high in the following periods. According to fishers, and
485 the first shark fishery description by 1940s De la Peña (1942), *G. cirratum* was
486 considered a common species throughout Campeche, with photographic records
487 and anecdotes of its large size and abundance. By the 1980s it represented 3% of
488 the total shark captures (Uribe-Martínez, 1984), whereas in the study of Pérez-
489 Jiménez and Mendez-Loeza (2015) it represents less than 0.001% of the shark
490 catches and is considered rare by most fishers. This results and perceptions
491 makes urgent the implementation of conservation measures at a regional level,
492 since the declines of population and even local extirpation of this species has been
493 observed in Brazilian coastal waters (Feitosa et al., 2018).

494 *Carcharhinus leucas* has high vulnerability and is classified as near threatened
495 (Simpfendorfer and Burgess, 2009) but fishers consider it as the most common
496 large shark in the area. Pérez-Jiménez and Mendez Loeza (2015) observed target
497 fisheries for *C. leucas* and recommended the prohibition of the fishing gears
498 (multifilament gill-nets) used to target this species in order to reduce the fishing
499 pressure.

500 *Negaprion brevirostris* is classified as near threatened with an unknown population
501 trend (Sundström, 2015). Females of this species show a strong philopatry to
502 nursery areas like coastal lagoons (Feldheim et al., 2002), which corresponds with
503 the seasonal catch records reported by Uribe-Martínez and Murillo (1991) and the
504 information given by fishers. This species was not frequently captured historically
505 (Bonfil, 1997; Uribe-Martínez, 1995, 1984), but fishers reported not catching this
506 shark in certain areas any more or less frequently than when they were younger.
507 Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza (2015) recorded only one specimen in their
508 sampling of the southern Gulf of Mexico from 2011 to 2014. These results and their
509 unknown population trend highlights the importance of urgent research to study
510 this species in the area.

511 *Sphyrna mokarran* is classified as endangered by the IUCN (Denham et al. 2007)
512 and had high vulnerability for the three time periods, however, despite reaching up
513 to 6 meters of total length, its semi-oceanic distribution (Compagno, 2002) reduce
514 its interaction with fishing activities and habitat degradation in Campeche. This
515 species has been reported as of secondary importance in the artisanal fisheries of
516 the Gulf of Mexico (Bonfil, 1997; Castillo-Géniz et al., 1998). Currently, the shark
517 fisheries in the southeast Gulf of Mexico report less than 1% of *S. mokarran* in the
518 global catch (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015), and fishers report a
519 decrease in its catches, therefore, this species needs global conservation actions
520 due to its population decline (Denham et al., 2007).

521 Both *P. pectinata* and *P. pristis* had the lowest productivity and the highest
522 susceptibility values among the species studied, which drove both species to their

523 apparent extirpation from Campeche (Bonfil et al., 2018). These species were not
524 able to withstand high fishing pressure in the last decades. Old fishers remember
525 when large females approached the shore during their pupping season, but young
526 fishers are unaware of their presence in the area, demonstrating the shifting
527 baseline syndrome (Pauly 1995).

528 *Galeocerdo cuvier* was the only large-bodied shark species that initiated with low
529 vulnerability values, changed to moderate vulnerability in the developed industry
530 period and had even lower vulnerability values in the declining industry period than
531 in the local commercialization period. This species is highly mobile (Kohler and
532 Turner, 2001) and according to fishers it is the species with the lowest prices
533 because of the bad quality of its meat and fins. Nowadays, fishers consider this
534 species a nuisance due to its aggressiveness and its tendency to break the
535 monofilament nets. However, despite the ecological importance of this species
536 there is general lack of biological information (Holland et al., 2019).

537 There was a decrease in shark vulnerability as the fishing fleet became smaller but
538 this does not mean that there has not been an accumulative effect on the shark
539 populations in the state of Campeche. It has been shown that even low fishing
540 pressure from artisanal fleets can have large effects in large coastal sharks, and
541 fishing juveniles, as historically has occurred, can exacerbate the effects of
542 decades of fishing (Ferretti et al., 2010; Ward-Paige et al., 2010). Coastal species
543 tend to be the first affected by fisheries because of their proximity to human
544 communities, and this can be seen reflected on their vulnerability (Ferretti et al.,
545 2010, 2008).

546 Even if the vulnerability values decreased in the declining industry period it does
547 not necessarily mean that fishers are not interested in catching sharks, it is just the
548 result that sharks are less abundant. In the past, the shark fishery was a year
549 round activity, with a larger number of species caught (Uribe-Martínez, 1984);
550 nowadays it is a seasonal fishery that focuses on the smaller and more productive
551 sharks (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza 2015), and fishers mentioned a clear
552 preference for small sharks and juveniles of large sharks.

553 A limitation of the present study is that it was necessary to combine the different
554 fishing gears into a single attribute for the PSA, as there was not enough
555 information to separate the fishing gears for each time period, which probably
556 increased the overall vulnerability value. According to the interviewees and
557 historical description, fishers in the state have mostly used multifilament nets to
558 catch sharks since the 1980s (Bonfil, 1997; Castillo-Géniz et al., 1998; Uribe-
559 Martínez, 1984), and before that, they used a combination of harpoon and
560 henequen nets.

561 The attributes type of fishing vessel and fishing technology included in the PSA are
562 important because they show a tendency to improve fishing performance
563 throughout the periods analyzed; and, these changes can be clearly differentiated
564 in Mexican fisheries (Hernandez and Kempton 2003). However, in other parts of
565 the world like the Philippines, they still use traditional canoes and modern fishing
566 gear (Selgrath et al., 2018), making these attributes useful to evaluate other
567 fisheries.

568 Despite modifications, the PSA proved to be a good tool for data-poor fisheries as
569 the species that scored the highest vulnerability values for the local
570 commercialization period, such as *P. pectinata* and *P. pristis*, increased their
571 vulnerability for the developed industry period and appear to be locally extinct at
572 the present time as a consequence of overfishing (Bonfil et al., 2018).

573 4.4 Final considerations

574 Integrating historical information into fisheries assessments can change radically
575 the perspective of the results (Mcclenachan et al., 2012). Documenting and
576 integrating local LEK can give important data of the marine resources that can help
577 us to avoid the shifting baseline syndrome and highlight the most vulnerable
578 species, such as *G. cirratum* and *N. brevirostris*. Both species appear to be in need
579 of further research to develop a conservation strategy, as young fishers do not
580 remember a time when *G. cirratum* was common and *N. brevirostris* could be
581 found in shallow areas other than an isolated community to the north of the state,
582 Isla Arena. Probably, these species are still observed in Isla Arena because of its
583 remote location, surrounded by two biosphere reserves Los Petenes and Ria
584 Celestun, which are part of a coastal biological corridor that is recognized for
585 having the best preserved wetlands on the western side of the Yucatan Peninsula
586 (CONANP, 2006, 2000), and the bridge that connects the community with the rest
587 of the state was built in 1999 (Eslava Morales et al., 2008).

588 This new approach serves as an illustrative example of the usefulness of the PSA
589 for data-poor fisheries in order to understand the current vulnerability values within
590 a historical context to interpret the results. Now it is possible to trace back the

591 steps of the fishery and focus on management strategies for species like *R.*
592 *terraenovae*, *S. tiburo*, and *C. acronotus*, that despite being submitted to intense
593 fishing pressure in the past and present, remain as the most common sharks and
594 are an important protein source for coastal communities. It also encourages to
595 rethink the management strategies for large coastal sharks, because even if most
596 of them had moderate vulnerability values in the beginning of the fishery, they now
597 carry with them a history of exploitation that has to be taken into account to avoid
598 keep repeating the apparent local extinctions.

599 Most sharks are inherently vulnerable to fisheries for their biological characteristics,
600 but shark fisheries anywhere in the world can learn from their history, and use
601 scientific advice to develop management strategies or improve the existing ones,
602 and focus on species that can keep up with the activity, so the shark fisheries can
603 continue to exist without further endangering vulnerable species.

604 Acknowledgements

605 Special thanks to each one of the fishers and interviewees from all over the state of
606 Campeche that shared their knowledge and life experiences with us. We thank F.
607 Serrano-Flores for his help in the field, and E. Bada-Sánchez, A. Zamora-Rendón,
608 and A. Peña-Puch for their assistance. Funding was provided by El Colegio de la
609 Frontera Sur.

610 References

611 Applegate, S.P., Sotelo-Macias, F., Espinosa-Arrubarrena, L., 1993. An overview
612 of Mexican shark fisheries, with suggestions for shark conservation in Mexico,
613 Conservation Biology of Elasmobranchs. NOAA Technical Report NMFS 115.

614 Arreguín-Sánchez, F., del Monte Luna, P., Zetina-Rejón, M.J., Tripp-Valdez, A.,
615 Albañez-Lucero, M.O., Mónica Ruiz-Barreiro, T., 2017. Building an ecosystems-
616 type fisheries management approach for the Campeche Bank, subarea in the Gulf
617 of Mexico Large Marine Ecosystem. *Environ. Dev.* 22, 143–149.
618 <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.03.004>

619 Barba-Meinecke, B., 2014. *Historias de Mar Pescadores de Historia*. H.
620 Ayuntamiento de Campeche 2012-2015, San Francisco de Campeche, México.

621 Bonfil, R., 1997. Status of sharks resources in the Southern Gulf of Mexico and
622 Caribbean: implications for management. *Fish. Res.* 29, 101–117.
623 [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(96\)00536-X](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(96)00536-X)

624 Bonfil, R., Ricaño-Soriano, M., Mendoza-Vargas, O.U., Méndez-Loeza, I., Pérez-
625 Jiménez, J.C., Bolaño-Martínez, N., Palacios-Barreto, P., 2018. Tapping into local
626 ecological knowledge to assess the former importance and current status of
627 sawfishes in Mexico. *Endanger. Species Res.* 36, 213–228.
628 <https://doi.org/10.3354/esr00899>

629 Burgess, G.H., 2009. *Carcharhinus brevipinna*. The IUCN Red List of Threatened
630 Species [WWW Document]. e.T39368A10182758.
631 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T39368A10182758.en>

632 Burgess, G.H., Branstetter, S., 2009. *Carcharhinus limbatus*. The IUCN Red List of
633 Threatened Species 2009 [WWW Document]. e.T3851A10124862.
634 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T3851A10124862.en>

635 Carranza, J., 1959. Pesca y Recursos pesqueros, in: Beltrán, E. (Ed.), Los
636 Recursos Naturales Del Sureste y Su Aprovechamiento. Instituto Mexicano de
637 Recursos Naturales Renovables A.C., p. 720 pp.

638 Castillo-Géniz, J.L., Márquez-Farias, J.F., Cruz, M.C.R. de la, Cortés, E., Prado,
639 A.C. del, 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards
640 a regulated fishery. *Mar. Freshw. Res.* 49, 611. <https://doi.org/10.1071/MF97120>

641 Castillo-geniz, J.L., Márquez-Farias, J.F., Uribe, J., Bonfil, R., de Anda, D., Mena,
642 R., Vélez, R., Mendizábal, D., 1996. La pesquería de tiburón en México., in:
643 Pesquerías Relevantes de México. Tomo II, XXX Aniversario Del INP, 1962-1992.
644 Instituto Nacional de Pesca/SEMARNAP, p. 1024.

645 Castro-Aguirre, J.L., 1965. Aprovechamiento de los tiburones y rayas en México,
646 in: Trabajos de Divulgación. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General
647 de Pesca e Industrias Conexas. Contribución del Instituto Nacional de
648 Investigaciones Biológico-Pesqueras, pp. 1–15.

649 Chin, A., Kyne, P.M., Walker, T.I., McAuley, R.B., 2010. An integrated risk
650 assessment for climate change: Analysing the vulnerability of sharks and rays on
651 Australia's Great Barrier Reef. *Glob. Chang. Biol.* 16, 1936–1953.
652 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02128.x>

653 Compagno, L.J., 2002. Sharks, in: Carpenter, K.E. (Ed.), *The Living Marine*
654 *Resources of the Western Central Atlantic*. Vol. 1: Introduction, Molluscs,
655 Crustaceans, Hagfishes, Sharks, Batoid Fishes and Chimaeras. *FAO Species*

656 Identification Guide for Fisheries Purposes and American Society of Ichthyologists
657 and Herpetologists Special Publication 5, pp. 357–505.

658 CONANP, 2006. Programa de conservación y manejo, Reserva de la biosfera de
659 Los Petenes. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Mexico.

660 CONANP, 2000. Programa de manejo, Reserva de la Biosfera Ría de Celestún.
661 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Mexico.

662 Cortés, E., Brooks, E.N., Shertzer, K.W., 2015. Risk Assessment of cartilaginous
663 fish populations. ICES J. Mar. Sci. 72, 1057–1068.
664 <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu157>

665 Cortes, E., Lowry, D., Bethea, D., Lowe, C., 2016. *Sphyrna tiburo*. The IUCN Red
666 List of Threatened Species 2016 [WWW Document]. e.T39387A2921446.
667 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T39387A2921446.en>

668 De la Peña, M., 1942. Campeche Económico Vol. II. Gobierno Constitucional del
669 Estado de Campeche, Campeche.

670 Denham, J., Stevens, J.D., Simpfendorfer, C., Heupel, M.R., Cliff, G., Morgan, A.,
671 Graham, R., Ducrocq, M., Dulvy, N.K., Seisay, M., Asber, M., Valenti, S.V.,
672 Litvinov, F., Martins, P., Lemine Ould Sidi, M., Tous, P., Bucal, D., 2007. *Sphyrna*
673 *mokarran*. The IUCN Red List of Threatened Species [WWW Document].
674 e.T39386A10191938.
675 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T39386A10191938.en>

676 Diario Oficial de la Federación, 2007. NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable
677 detiburones y rayas, especificaciones para su aprovechamiento. Publicada el 14
678 de Febrero del 2007. Ciudad de México.

679 Diario Oficial de la Federación, 2012. Carta Nacional Pesquera. Publicada el 24 de
680 agosto de 2012.

681 Diario Oficial de la Federación. 2017. Carta Nacional Pesquera. Publicada el 11 de
682 junio de 2018.

683 Driggers, W.B., Oakley, D.A., Ulrich, G., Carlson, J.K., Cullum, B.J., Dean, J.M.,
684 2004. Reproductive biology of *Carcharhinus acronotus* in the coastal waters of
685 South Carolina. *J. Fish Biol.* 64, 1540–1551. [https://doi.org/10.1111/j.0022-](https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00408.x)
686 [1112.2004.00408.x](https://doi.org/10.1112.2004.00408.x)

687 Drymon, J.M., Powers, S.P., Dindo, J., Dzwonkowski, B., Henwood, T.A., 2010.
688 Distributions of Sharks across a Continental Shelf in the Northern Gulf of Mexico.
689 *Mar. Coast. Fish.* 2, 440–450. <https://doi.org/10.1577/C09-061.1>

690 Dulvy, N.K., Fowler, S.L., Musick, J.A., Cavanagh, R.D., Kyne, P.M., Harrison,
691 L.R., Carlson, J.K., Davidson, L.N., Fordham, S. V., Francis, M.P., Pollock, C.M.,
692 Simpfendorfer, C.A., Burgess, G.H., Carpenter, K.E., Compagno, L.J., Ebert, D.A.,
693 Gibson, C., Heupel, M.R., Livingstone, S.R., Sanciangco, J.C., Stevens, J.D.,
694 Valenti, S., White, W.T., 2014. Extinction risk and conservation of the world's
695 sharks and rays. *Elife* 3, e00590. <https://doi.org/10.7554/eLife.00590.001>

696 Dulvy, N.K., Simpfendorfer, C.A., Davidson, L.N.K., Fordham, S. V., Bräutigam, A.,
697 Sant, G., Welch, D.J., 2017. Challenges and Priorities in Shark and Ray

698 Conservation. *Curr. Biol.* 27, R565–R572.
699 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.038>

700 Early-Capistrán, M.M., Sáenz-Arroyo, A., Cardoso-Mohedano, J.G., Garibay-Melo,
701 G., Peckham, S.H., Koch, V., 2018. Reconstructing 290 years of a data-poor
702 fishery through ethnographic and archival research: The East Pacific green turtle
703 (*Chelonia mydas*) in Baja California, Mexico. *Fish Fish.* 19.
704 <https://doi.org/10.1111/faf.12236>

705 Eslava Morales, H., Matías Ramírez, L.G., Fuentes Mariles, Ó.A., Mendoza
706 Estrada, D.R., 2008. Aplicación de la metodología para la elaboración de mapas
707 de riego por inundaciones costeras por marea de tormenta. Caso Isla Arena,
708 Municipio de Calkíni, Campeche. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

709 Espinoza-Tenorio, A., Espejel, I., Wolff, M., Zepeda-Domínguez, J.A., 2011.
710 Contextual factors influencing sustainable fisheries in Mexico. *Mar. Policy* 35, 343–
711 350. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.10.014>

712 Feitosa, L.M., Martins, A.P.B., Giarrizzo, T., MacEdo, W., Monteiro, I.L., Gemaque,
713 R., Nunes, J.L.S., Gomes, F., Schneider, H., Sampaio, I., Souza, R., Sales, J.B.,
714 Rodrigues-Filho, L.F., Tchaicka, L., Carvalho-Costa, L.F., 2018. DNA-based
715 identification reveals illegal trade of threatened shark species in a global
716 elasmobranch conservation hotspot. *Sci. Rep.* 8, 1–11.
717 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21683-5>

718 Feldheim, K.A., Gruber, S.H., Ashley, M. V., 2002. The breeding biology of lemon
719 sharks at a tropical nursery lagoon. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 269, 1655–1661.
720 <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2051>

721 Ferretti, F., Curnick, D., Liu, K., Romanov, E. V., Block, B.A., 2018. Shark
722 baselines and the conservation role of remote coral reef ecosystems. *Sci. Adv.* 4.
723 <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq0333>

724 Ferretti, F., Myers, R.A., Serena, F., Lotze, H.K., 2008. Loss of large predatory
725 sharks from the Mediterranean Sea. *Conserv. Biol.* 22, 952–964.
726 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00938.x>

727 Ferretti, F., Worm, B., Britten, G.L., Heithaus, M.R., Lotze, H.K., 2010. Patterns
728 and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecol. Lett.* 13, 1055–
729 1071. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01489.x>

730 Furlong-Estrada, E., Galván-Magaña, F., Tovar-Ávila, J., 2017. Use of the
731 productivity and susceptibility analysis and a rapid management-risk assessment
732 to evaluate the vulnerability of sharks caught off the west coast of Baja California
733 Sur, Mexico. *Fish. Res.* 194, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.06.008>

734 Furlong-Estrada, E., Tovar-ávila, J., Rios-jara, E., 2014. Evaluación de riesgo
735 ecológico de la pesca artesanal para los tiburones capturados en la entrada del
736 Golfo de California. *Hidrobiológica* 24, 83–97.

737 Gallagher, A.J., Kyne, P.M., Hammerschlag, N., 2012. Ecological risk assessment
738 and its application to elasmobranch conservation and management. *J. Fish Biol.*
739 80, 1727–1748. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03235.x>

740 Goodman, L.A., 1961. Snowball Sampling. *Ann. Math. Stat.* 32, 148–170.
741 <https://doi.org/10.1214/aoms/1177705148>

742 Hernández-Carvallo, A., 1965. Resumen de las investigaciones sobre
743 elasmobranquios de la República Mexicana, in: *Trabajos de Divulgación.*
744 Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca e Industrias
745 Conexas. Contribución del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-
746 Pesqueras, pp. 1–6.

747 Hernández-Silva, H., 1987. Análisis de la captura y aspectos biológicos de los
748 tiburones en el suroeste de Campeche. Universidad Veracruzana.

749 Hernandez, A., Kempton, W., 2003. Changes in fisheries management in Mexico :
750 Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean Coast. Manag.*
751 46, 507–526. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00032-2)

752 Hobday, A.J., Smith, A.D.M., Stobutzki, I.C., Bulman, C., Daley, R., Dambacher,
753 J.M., Deng, R.A.A., Dowdney, J., Fuller, M., Furlani, D., Griffiths, S.P.P., Johnson,
754 D., Kenyon, R., Knuckey, I.A.A., Ling, S.D.D., Pitcher, R., Sainsbury, K.J.J.,
755 Sporcic, M., Smith, T., Turnbull, C., Walker, T.I., Wayte, S.E.E., Webb, H.,
756 Williams, A., Wise, B.S.S., Zhou, S., 2011. Ecological risk assessment for the
757 effects of fishing. *Fish. Res.* 108, 372–384.
758 <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.013>

759 Holland, K.N., Anderson, J.M., Coffey, D.M., Holmes, B.J., Meyer, C.G., Royer,
760 M.A., 2019. A Perspective on Future Tiger Shark Research. *Front. Mar. Sci.* 6, 1–
761 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00037>

762 Hueter, R., Castillo-Geniz, J.L., Marquez-Farias, J.F., Tyminski, J.P., 2007. The
763 use of Laguna Yalahau, Quintana Roo, Mexico as a primary nursery for the
764 blacktip shark. *Am. Fish. Soc.* 50, 345–364.

765 Jabado, R.W., Al Ghais, S.M., Hamza, W., Henderson, A.C., 2015. The shark
766 fishery in the United Arab Emirates: An interview based approach to assess the
767 status of sharks. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 25, 800–816.
768 <https://doi.org/10.1002/aqc.2477>

769 Keeney, D.B., Heupel, M.R., Hueter, R.E., Heist, E.J., 2005. Microsatellite and
770 mitochondrial DNA analyses of the genetic structure of blacktip shark
771 (*Carcharhinus limbatus*) nurseries in the northwestern Atlantic, Gulf of Mexico, and
772 Caribbean Sea. *Mol. Ecol.* 14, 1911–1923. [https://doi.org/10.1111/j.1365-](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02549.x)
773 [294X.2005.02549.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02549.x)

774 Kohler, N.E., Casey, J.G., Turner, P.A., 1998. NMFS cooperative shark tagging
775 program, 1962-93: an atlas of shark tag and recapture data. *Mar. Fish. Rev.* 60, 1–
776 87.

777 Kohler, N.E., Turner, P.A., 2001. Shark tagging: A review of conventional methods
778 and studies. *Environ. Biol. Fishes* 60, 191–223.
779 <https://doi.org/10.1023/A:1007679303082>

780 Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C.,
781 Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B.C., 2006. Depletion
782 degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312,
783 1806–1809. <https://doi.org/10.1126/science.1128035>

784 Marín, V.A., 1964. Aspectos interesantes para la pesca de tiburón en México, in:
785 Trabajos de Divulgación. Secretaria de Industria y Comercio, Dirección General de
786 Pesca e Industrias Conexas. Contribución del Instituto Nacional de Inestigaciones
787 Biológico-Pesqueras, pp. 1–20.

788 Mcclenachan, L., Ferretti, F., Baum, J.K., 2012. From archives to conservation:
789 Why historical data are needed to set baselines for marine animals and
790 ecosystems. *Conserv. Lett.* 5, 349–359. [https://doi.org/10.1111/j.1755-](https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00253.x)
791 [263X.2012.00253.x](https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00253.x)

792 Morgan, M., Carlson, J., Kyne, P.M., Lessa, R., 2009. *Carcharhinus acronotus*.
793 The IUCN Red List of Threatened Species [WWW Document].
794 e.T161378A5410167. [https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161378A5410167.en)
795 [2.RLTS.T161378A5410167.en](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161378A5410167.en)

796 Musick, J.A., 1999. Criteria to Define Extinction Risk in Marine Fishes: The
797 American Fisheries Society Initiative. *Fisheries* 24, 6–14.
798 [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1999\)024<0006:CTDERI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1999)024<0006:CTDERI>2.0.CO;2)

799 Nadon, M.O., Baum, J.K., Williams, I.D., Mcpherson, J.M., Zgliczynski, B.J.,
800 Richards, B.L., Schroeder, R.E., Brainard, R.E., 2012. Re-Creating Missing
801 Population Baselines for Pacific Reef Sharks. *Conserv. Biol.* 26, 493–503.
802 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01835.x>

803 Newman, S.E., 2016. Sharks in the jungle: real and imagined sea monsters of the
804 Maya. *Antiquity* 90, 1522–1536. <https://doi.org/10.15184/aqy.2016.218>

805 Osio, G.C., Orio, A., Millar, C.P., 2015. Assessing the vulnerability of
806 Mediterranean demersal stocks and predicting exploitation status of un-assessed
807 stocks. *Fish. Res.* 171, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.02.005>

808 Patrick, W., Spencer, P., Ormseth, O., Cope, J., Field, J., Kobayashi, D.R.,
809 Gedamke, T., Cortés, E., Bigelow, K., Overholtz, W.J., Link, J., Lawson, P., 2009.
810 Use of productivity and susceptibility indices to determine the vulnerability of a
811 stock: with example applications to six US fisheries. *NOAA Tech. Memo.* 90.
812 <https://doi.org/NMFS-F/SPO-101>

813 Patrick, W.S., Spencer, P., Link, J., Cope, J., Field, J., Kobayashi, D., Lawson, P.,
814 Gedamke, T., Cortés, E., Ormseth, O., Bigelow, K., Overholtz, W., 2010. Using
815 productivity and susceptibility indices to assess the vulnerability of United States
816 fish stocks to overfishing. *Fish. Bull.* 108, 305–322.

817 Pauly, D., 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends*
818 *Ecol. Evol.* 10, 430.

819 Pauschardt, H.R., 1983. Contribución al conocimiento de las poblaciones de
820 tiburón y cazón en el Golfo de México y mar Caribe.

821 Pérez-Jiménez, J.C., Mendez-Loeza, I., 2015. The small-scale shark fisheries in
822 the southern Gulf of Mexico: Understanding their heterogeneity to improve their
823 management. *Fish. Res.* 172, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.07.004>

824 Pérez-Jiménez, J.C., Méndez-Loeza, I., Mendoza-Carranza, M., Cuevas-Zimbron,
825 E., 2012. Análisis histórico de las pesquerías de elasmobranchios del sureste del
826 golfo de México, in: Sánchez, A.J., Chiapa-Carrara, X., Brito Pérez, R. (Eds.),

827 Recursos Acuáticos Costeros Del Sureste. Volumen II. Mérida, México, pp. 463–
828 481.

829 Posada-Vanegas, G., Vega-Serratos, B.E., Silva-Casarín, R., 2013. Peligros
830 Naturales en el Estado de Campeche Cuantificación y Protección Civil.

831 Roff, G., Brown, C.J., Priest, M.A., Mumby, P.J., 2018. Decline of coastal apex
832 shark populations over the past half century. *Commun. Biol.* 1, 1–11.
833 <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0233-1>

834 Rosa, R.S., Castro, A.L.F., Furtado, M., Monzini, J., Grubbs, R.D., 2006.
835 *Ginglymostoma cirratum*. The IUCN Red List of Threatened Species [WWW
836 Document]. e.T60223A12325895.
837 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T60223A12325895.en>

838 Roux, M.J., Tallman, R.F., Martin, Z.A., 2019. Small-scale fisheries in Canada's
839 Arctic: Combining science and fishers knowledge towards sustainable
840 management. *Mar. Policy* 101, 177–186.
841 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.016>

842 Rubio-Cisneros, N.T., Moreno-Báez, M., Glover, J., Rissolo, D., Sáenz-Arroyo, A.,
843 Götz, C., Salas, S., Andrews, A., Marín, G., Morales-Ojeda, S., Antele, F., Herrera-
844 Silveira, J., 2018. Poor fisheries data, many fishers, and increasing tourism
845 development: Interdisciplinary views on past and current small-scale fisheries
846 exploitation on Holbox Island. *Mar. Policy* 1–13.
847 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.10.003>

848 Sáenz-Arroyo, A., Revollo-Fernández, D., 2016. Local ecological knowledge
849 concurs with fishing statistics: An example from the abalone fishery in Baja
850 California, Mexico. *Mar. Policy* 71, 217–221.
851 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.06.006>

852 Saenz-Arroyo, A., Roberts, C., Torre, J., Carino-Olvera, M., Enriquez-Andrade, R.,
853 2005. Rapidly shifting environmental baselines among fishers of the Gulf of
854 California. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 272, 1957–1962.
855 <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3175>

856 Saldaña-Ruiz, L.E., Sosa-Nishizaki, O., Cartamil, D., 2017. Historical
857 reconstruction of Gulf of California shark fishery landings and species composition,
858 1939–2014, in a data-poor fishery context. *Fish. Res.* 195, 116–129.
859 <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.07.011>

860 Seca-Escalante, J.M., Uribe-Martínez, J.A., Murillo-Guerrero, D., 1987. Estructura
861 y biometría de tiburones capturados comercialmente en el puerto de Campeche,
862 Campeche.

863 Selgrath, J.C., Gergel, S.E., Vincent, A.C.J., 2018. Shifting gears: Diversification,
864 intensification, and effort increases in small-scale fisheries (1950-2010). *PLoS One*
865 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190232>

866 Sguotti, C., Lynam, C.P., García-Carreras, B., Ellis, J.R., Engelhard, G.H., 2016.
867 Distribution of skates and sharks in the North Sea: 112 years of change. *Glob.*
868 *Chang. Biol.* 22, 2729–2743. <https://doi.org/10.1111/gcb.13316>

869 Simpfendorfer, C., Burgess, G.H., 2009. *Carcharhinus leucas*. The IUCN Red List
870 of Threatened Species 2009 [WWW Document]. e.T39372A10187195.
871 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T39372A10187195.en>

872 Simpfendorfer, C.A., Dulvy, N.K., 2017. Bright spots of sustainable shark fishing.
873 *Curr. Biol.* 27, R97–R98. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.12.017>

874 Soto, L.A., Botello, A. V., Licea-Durán, S., Lizárraga-Partida, M.L., Yáñez-
875 Arancibia, A., 2014. The environmental legacy of the Ixtoc-I oil spill in Campeche
876 Sound, southwestern Gulf of Mexico. *Front. Mar. Sci.* 1.
877 <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00057>

878 Sulikowski, J.A., Driggers, W.B., Ford, T.S., Boonstra, R.K., Carlson, J.K., 2007.
879 Reproductive cycle of the blacknose shark *Carcharhinus acronotus* in the Gulf of
880 Mexico. *J. Fish Biol.* 70, 428–440. [https://doi.org/10.1111/j.1095-](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01314.x)
881 [8649.2007.01314.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01314.x)

882 Sundström, L.F., 2015. *Negaprion brevirostris*. The IUCN Red List of Threatened
883 Species [WWW Document]. e.T39380A81769233.
884 <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015.RLTS.T39380A81769233.en>

885 Thurstan, R.H., McClenachan, L., Crowder, L.B., Drew, J.A., Kittinger, J.N., Levin,
886 P.S., Roberts, C.M., Pandolfi, J.M., 2015. Filling historical data gaps to foster
887 solutions in marine conservation. *Ocean Coast. Manag.* 115, 31–40.
888 <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.04.019>

889 Tovar-Ávila, J., Furlong-Estrada, E., Castillo-Géniz, J.L., 2016. Evaluación de
890 riesgo ecológico por efectos de las pesquerías de tiburón mexicanas para las

891 especies incluidas en el Apéndice II de la CITES, in: Castillo-Géniz, J.L., Tovar-ávila,
892 J. (Eds.), Tiburones Mexicanos de Importancia Pesquera En La CITES. Instituto
893 Nacional de Pesca, México, p. 95.

894 Turvey, S.T., Risley, C.L., Moore, J.E., Barrett, L.A., Yujiang, H., Xiujiang, Z.,
895 Kaiya, Z., Ding, W., 2013. Can local ecological knowledge be used to assess
896 status and extinction drivers in a threatened freshwater cetacean? Biol. Conserv.
897 157, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.016>

898 Uribe-Martínez, J.A., 1995. Propuesta de manejo de los recursos de cazón y
899 tiburón de las pesquerías de la sonda de Campeche, in: Reunión de Consulta
900 Sobre La Pesquería de Escama y Tiburón. Universidad Autónoma de Campeche,
901 Campeche, p. 11.

902 Uribe-Martínez, J.A., 1993. Distribución, Abundancia, Estructura y Biometría de
903 Especies de Tiburones Capturados en la Sonda de Campeche, México.
904 Universidad Nacional Autónoma de México.

905 Uribe-Martínez, J.A., 1986. Las investigaciones biológico-pesqueras de tiburón y
906 cazón en el estado de Campeche, in: Primera Reunión Del Comité Técnico Del
907 Programa Tiburón-Cazón. Instituto Nacional de la pesca. Centro Regional de
908 Yucalpetén, Yucalpetén, México, p. 10.

909 Uribe-Martínez, J.A., 1984. Aspectos importantes de la pesquería de tiburón y
910 cazón en el estado de Campeche, México. Ciudad del Carmen.

911 Uribe-Martínez, J.A., Murillo, D., 1991. Descripción de las pesquerías de tiburón y
912 cazón en el Estado de Campeche, México, in: Reunión Regional de CRIPs Para

913 Elaborar El Diagnóstico Pesquero de La Península de Yucatan. Instituto Nacional
914 de la pesca. Centro Regional de Yucalpetén, Yucatán, México, p. 19.

915 Walker, T.I., 2005. Management measures, in: Musick, J.A., Bonfil, R. (Eds.),
916 Management Techniques for Elasmobranch Fisheries. Food and Agriculture
917 Organization of the United Nations., Roma, Italia, pp. 216–242.

918 Walker, T.I., 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question
919 revisited with a review of shark fisheries. *Mar. Freshw. Res.* 49, 553.
920 <https://doi.org/10.1071/MF98017>

921 Ward-Paige, C.A., Mora, C., Lotze, H.K., Pattengill-Semmens, C., McClenachan,
922 L., Arias-Castro, E., Myers, R.A., 2010. Large-scale absence of sharks on reefs in
923 the greater-caribbean: A footprint of human pressures. *PLoS One* 5.
924 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011968>

925 Worm, B., Davis, B., Kettner, L., Ward-Paige, C.A., Chapman, D., Heithaus,
926 M.R., Kessel, S.T., Gruber, S.H., 2013. Global catches, exploitation rates, and
927 rebuilding options for sharks. *Mar. Policy* 40, 194–204.
928 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.034>

929 Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Rojas Galaviz, J.L., Zárate Lomeli,
930 D.J., Villalobos Zapata, G.J., Sánchez-Gil, P., 1999. Integrating science and
931 management on coastal marine protected areas in the Southern Gulf of Mexico.
932 *Ocean Coast. Manag.* 42, 319–344. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(98\)00059-](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(98)00059-3)
933 3

934 Yáñez-Arancibia, A., Lara-Dominguez, A.L., Rojas-Galaviz, J.L., Sánchez-Gil, P.,
935 Day, J.W., Madden, C.J., 1988. Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes
936 coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of Mexico). *J. Fish Biol.*
937 33, 191–200. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05573.x>

938

939

Figure Legends

Figure. 1. Shark fishing communities along the coast of Campeche where the interviews to shark fishers were conducted. The Campeche Bank is delimited by the 200 m isobath.

Figure. 2. Year fishers started and stopped fishing sharks in the fishing ports of Campeche.

Figure 3. Productivity and susceptibility for the sharks of the state of Campeche in the three different time period. Code correspond to shark species as enlisted in Table 6

Tables

Table 1. Weight, definition and rank of the attributes used to estimate the productivity of sharks in southern Gulf of Mexico.

Productivity Attribute	Weight	Definition	Ranking		
			High (3)	Moderate (2)	Low (1)
r	2	The intrinsic rate of population growth, or maximum population growth that would occur in the absence of fishing	>0.2	0.1-0.2	<0.1
Maximum age	3	A direct indicator of the natural mortality rate (M), where low levels of M are negatively correlated with maximum age in years	<8 years	8-23 years	> 23 years
Maximum size	4	Correlated with productivity, with large fish tending to have lower productivity.	<150 cm	150-250 cm	>250 cm
Von Bertalanffy growth coefficient (k)	3	Measures how rapidly a fish reaches its maximum size, where long lived, low productivity stocks tend to have values of k	>0.25	0.05-0.25	<0.05

Natural mortality (M) (1.6*k)	2	Proportion of fish whose death is not related to fishing	>0.40	0.20-0.40	<0.20
Fecundity	4	Mean number of pups produced by a female of a certain age/size	>66 pups	34-66	<34
Size at maturity	4	Size in which 50% of the individuals of a population reach maturity. Lower productivity stocks are larger at maturity than short-lived stocks.	<100 cm	100-150 cm	>150 cm
Age at maturity	3	Tends to be positively correlated with maximum age (tmax); long-lived, lower productivity stocks are older at maturity than short-lived stocks.	< 5 years	5-11 years	>11 years
Trophic level	3	The position of a stock within the larger fish community can be used to infer stock productivity; lower trophic level stocks generally are more productive than higher trophic level stocks.	<3.1	3.1-3.8	>3.8
Reproductive cycle	4	Can be defined by how often a species breeds; stocks with shorter reproductive cycles have higher productivity than those with longer reproductive cycles.	Biannual	Annual	Biennial +

Table 2. Weight, definition and rank of the susceptibility attributes used to determine the vulnerability of the sharks in southern Gulf of Mexico, LEK=local ecological knowledge, GL=grey literature, SP=scientific papers, AK=authors' knowledge

Susceptibility Attribute	Weight	Definition	Type of Information and contribution	Ranking		
				High (3)	Moderate (2)	Low (1)
Areal overlap*	4	Extent of geographic overlap between the known distribution of each stock and that of the fishery.	LEK: Initial fishing areas and its changes. GL: Fishing areas 1980s. SP: Fishing areas 2010s. AK=Fishing areas 2018.	>50% of stock present in the area fished.	25–50% of the stock present in the area fished.	<25% of stock present in the area fished.
Geographic concentration*	3	The extent to which the stock is concentrated in a small area.	LEK: Original stock distribution in the area and its changes. SP: General stock distribution.	Stock is concentrated in <25% of its total range.	Stock is concentrated in 25–50% of its total range.	Stock is concentrated in >50% of its total range.

AK: Stock distribution 2018.

Vertical overlap*	4	Location of the stock within the water column (i.e., demersal versus pelagic) in relation to the fishing gear.	LEK: Fishing gear used and depth, since 1940s. GL: Fishing gear and depth for 1980s. SP: Fishing gear 1990s, 2010s. AK: Fishing gear used and depth 2018.	>50% of stock present in the depth fished.	25–50% of the stock present at the depth fished.	<25% of stock present at the depth fished.
Seasonal migrations	3	Increase or decrease in fishery-species interaction when seasonal migrations occur (i.e., spawning or feeding migrations).	LEK: Migrations in the area without distinguishing species. SP: Information of migrations or lack of for each species. AK: Local migrations.	Migrations increase the fishery-species Interaction.	Migrations do not affect the fishery-species interaction.	Migrations decrease the fishery-species interaction.

Schooling or Aggregations	4	Aggregations of organisms for feeding or reproduction (periods of two months or more).	SP: Information of schooling/aggregations or lack of for each species. AK: Schooling or aggregations in the area.	Aggregations increase the fishery-species interaction.	Aggregations do not affect the fishery species interaction.	Aggregations decrease the fishery-species interaction.
Morphology affecting capture	4	The ability of the fishing gear to capture fish based on their morphological characteristics (e.g., body shape, spiny versus soft rayed fins, etc.).	SP: Morphological characteristics. AK: Effects of morphology in the local fishery	Species shows high susceptibility to gear selectivity.	Species shows moderate susceptibility to gear selectivity.	Species shows low susceptibility to gear selectivity.
Seasonality of fishery*	3	Months of the year in which the fishing fleet targets a stock.	LEK: Seasonality throughout time. GL: Seasonality during 1980s. SP: Seasonality for 2010s. AK: Seasonality 2018.	>6	4 to 6	<4

Desirability*	4	Highly valued fish stocks are assumed to be more susceptible to overfishing or to becoming overfished by recreational or commercial fishermen due to increased effort.	LEK: Most valued species since 1940. GL: Prices of small and large sharks during 1980s. SP: Price for small and large sharks 2010s.	Target stock of the fishery.	Bycatch with medium to high value.	Bycatch with little to no value.
Type of fishing vessel*	4	Main vessels used for the shark fishery and materials	LEK: Description of the changes in fishing vessels before since 1940s up to 2018. GL: Description fishing vessels during 1980s. SP: Description fishing vessels 1990s and 2010s.	Use of cayucos, but small and medium size boats are the most used fishing vessels. Wood and	Rare use of cayucos, limited use of medium size boats, small size boats are the most used fishing vessels.	Cayucos as main fishing vessels, rare use of small and medium size boats. Wood as most common

			AK: Description fishing vessels 2018.	fiber glass most common materials for boat construction.	Fiber glass most common material for boat construction.	material for boat construction.
Fishing technology*	4	Materials and types of fishing gear, also the use or absence of a sail, or motor.	LEK: Description fishing technology before 1980s. GL: Description fishing technology during 1980s. SP: Description fishing technology 1990s and 2010s. AK: Fishing technology 2018.	Use of longlines and multifilament nets, use of stationary and outboard motors.	Use of monofilament nets, and stationary and outboard motors.	Use of natural fibers nets, harpoons and sails, rare use of any kind of motor.

Table 3 Criteria used to evaluate the data quality in the PSA by species, modified from Patrick et al. 2010.

Data quality score	Description
1	Best Data. Information based on collected data for the stock of interest
2	Adequate Data. Information based on limited coverage and corroboration,
3	Limited data. Estimates with high variation and limited confidence. Species in other regions of the world
4	Very Limited Data. Information based on expert opinion or on general literature reviews from a wide range of species (similar taxa)
5	No data

Table 4 Main characteristics of each time period.

Time Period	Main characteristics	Information Sources
Local	Small number of shark fishers, use of basic equipment	Interviews
Commercialization (1942-1980)	Limiting factors for shark catches were: the size and weight of the sharks, as there was a risk of the boat capsizing if the sharks weighted too much, and the lack of storage facilities and technology. Scientist and government encouraged increasing the fishing effort.	Grey literature (Barba-Meinecke, 2014; Carranza, 1959; Castro-Aguirre, 1965; De la Peña, 1942; Hernández-Carvallo, 1965; Marín, 1964)
Developed Industry (1981-1998)	The government invested in infrastructure for the shark fishery. Modernization of the fishing fleets and equipment, creation of cooperatives. First time medium size boats equipped to transport up to 70 tons and could stay in open seas for a maximum of 60 days were used for the shark fishery. Scientist recommend for further research before increasing fishing efforts.	Interviews Grey literature (Castillo-geniz et al., 1996; Hernández-Silva, 1987; Pauschardt, 1983; Seca-Escalante et al., 1987; Uribe-Martínez, 1995,

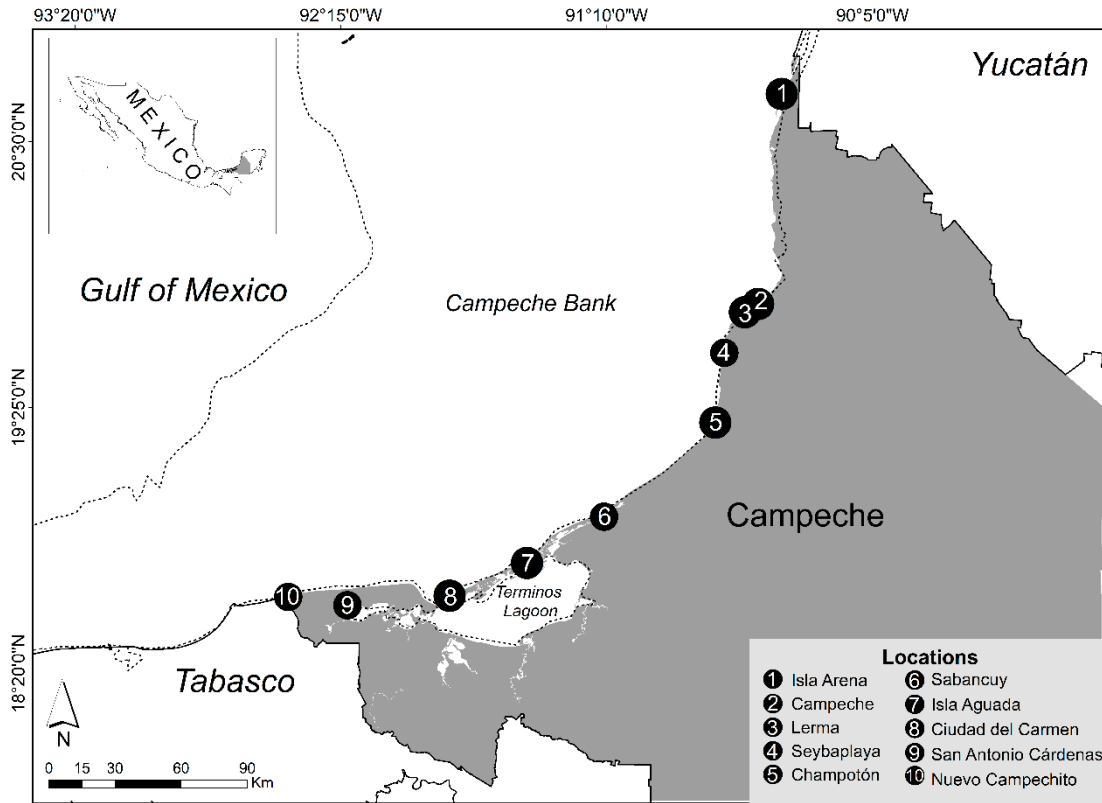
Declining Industry (1999- 2018)	<p>Important decline in shark catches.</p> <p>Fishers move greater distances to catch large sharks; uncertainty of captures and earnings.</p> <p>The activity is unprofitable for most fishers.</p> <p>Fishers target mainly small sharks.</p> <p>Establishment of a closed season, recommendation to have separate management strategies for small and large sharks.</p>	<p>1993, 1986, 1984; Uribe-Martínez and Murillo, 1991)</p> <p>Scientific papers (Applegate et al., 1993; Bonfil, 1997; Castillo-Géniz et al., 1998)</p> <p>Interviews</p> <p>Grey literature (Pérez-Jiménez et al., 2012)</p> <p>Scientific papers (Pérez-Jiménez and Mendez-Loeza, 2015)</p> <p>Official Normativity (Diario Oficial de la Federación, 2007)</p>
--	---	---

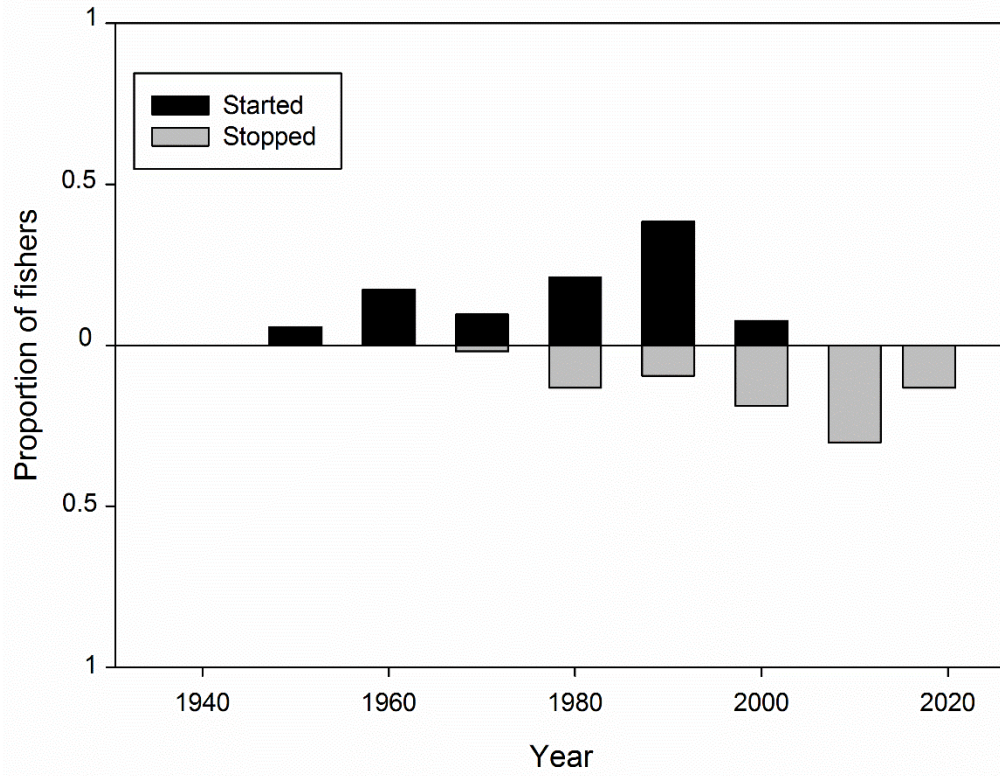
Table 5. Spanish and Mayan names mentioned by the fishers for the species evaluated, with their classification and population trend according to the IUCN.

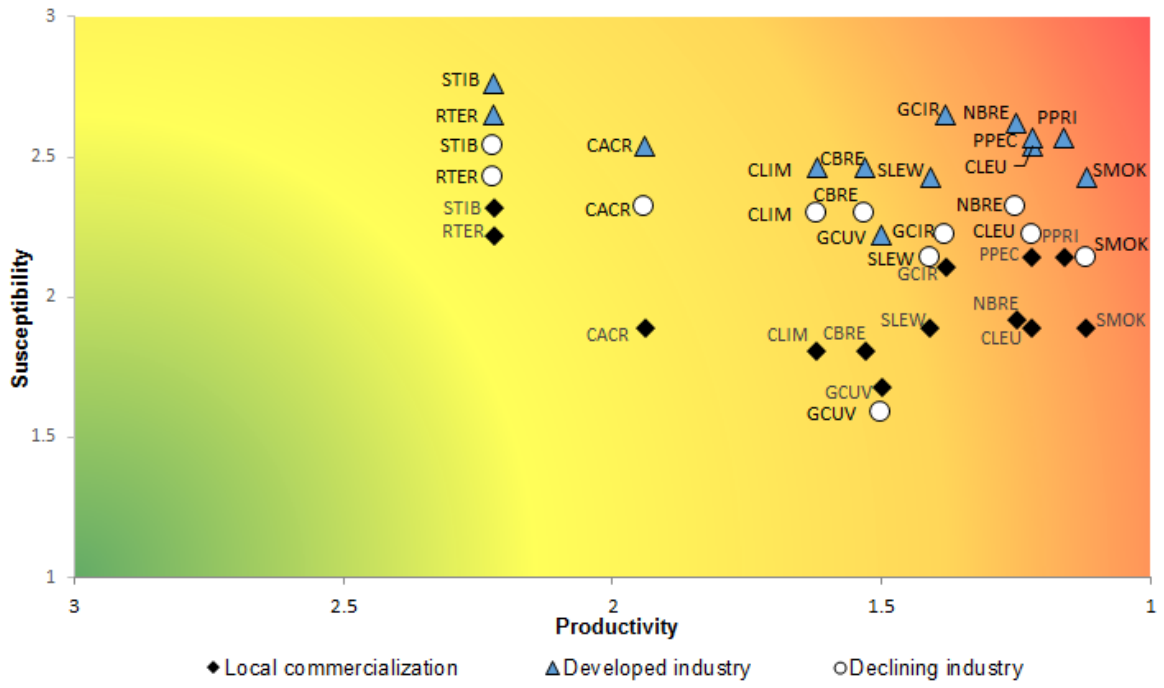
	Species	Spanish name	IUCN	Population
		*Mayan name	classification	trend
Small sharks	<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	Tutzun*	Least concern	Unknown
	<i>Sphyrna tiburo</i>	Pech*	Least concern	Stable
	<i>Carcharhinus acronotus</i>	Canguay*	Near threatened	Decreasing
	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	Gata, Misha	Data deficient	Unknown
	<i>Carcharhinus brevipinna</i>	Jaquetón	Near threatened	Unknown
	<i>Carcharhinus limbatus</i>		Near threatened	Unknown
	<i>Sphyrna lewini</i>	Cornuda	Endangered	Unknown
Large sharks	<i>Sphyrna mokarran</i>		Endangered	Decreasing
	<i>Galeocerdo cuvier</i>	Tintorera	Near threatened	Unknown
	<i>Carcharhinus leucas</i>	Xmoa*, Moan	Near threatened	Unknown
	<i>Negaprion brevirostris</i>	Canxok*, Riberín	Near threatened	Unknown
	<i>Pristis pectinata</i>	Chavache, Peje blanco, Pez espada, Pez sierra	Critically endangered	Decreasing
Pristis	<i>Pristis pristis</i>	Chavache, Peje blanco, Pez espada, Pez sierra	Critically endangered	Decreasing

Table 6. P= Productivity, S= Susceptibility, V= Vulnerability and QS= Data Quality Scores, obtained for 13 elasmobranch species in three different time periods. The productivity values did not change between time periods.

	Especie	Code	P	Local Commercialization			Developed Industry			Declining Industry			
				QS	S	V	QS	S	V	QS	S	V	
1	<i>R. terraenovae</i>	RTER	2.22	1.94	2.22	1.59	1.45	2.65	1.41	1.82	2.43	1.41	1.63
2	<i>S. tiburo</i>	STIB	2.22	1.81	2.32	1.89	1.54	2.76	1.68	1.92	2.54	1.68	1.73
3	<i>C. acronotus</i>	CACR	1.94	1.88	1.89	1.78	1.39	2.54	1.51	1.87	2.32	1.51	1.7
4	<i>G. cirratum</i>	GCIR	1.38	2.19	2.11	1.78	1.97	2.65	1.7	2.31	2.22	1.7	2.03
5	<i>C. brevipinna</i>	CBRE	1.53	2.12	1.81	1.78	1.68	2.46	1.78	2.07	2.3	1.78	1.96
6	<i>C. limbatus</i>	CLIM	1.62	1.81	1.81	1.7	1.6	2.46	1.7	2.01	2.3	1.7	1.89
7	<i>S. lewini</i>	SLEW	1.41	2	1.89	1.89	1.83	2.43	1.81	2.14	2.14	1.81	1.96
8	<i>S. mokarran</i>	SMOK	1.12	2.22	1.89	1.89	2.08	2.43	1.81	2.36	2.14	1.81	2.19
9	<i>G. cuvier</i>	GCUV	1.5	2.19	1.68	1.78	1.65	2.22	1.78	1.93	1.59	1.78	1.61
10	<i>C. leucas</i>	CLEU	1.22	1.91	1.89	1.78	1.99	2.54	1.7	2.36	2.22	1.7	2.16
11	<i>N. brevirostris</i>	NBRE	1.25	2	1.92	1.78	1.98	2.62	1.7	2.39	2.32	1.7	2.19
12	<i>P. pectinata</i>	PPEC	1.22	2	2.14	1.78	2.11	2.57	1.78	2.37			
13	<i>P. pristis</i>	PPRI	1.16	2	2.14	1.78	2.17	2.57	1.78	2.42			







Capítulo III

Conclusiones

La vulnerabilidad de las especies de tiburones del sureste del Golfo de México ha incrementado en las últimas décadas. Esto como un reflejo del desarrollo de la pesquería, que integró nuevas tecnologías de pesca, lo cual permitió aumentar su eficiencia, y expandir las áreas de pesca.

Existen tres períodos históricos para la pesca de tiburón en el estado de Campeche. El primero llamado “Comercialización local”, está caracterizado por una demanda local de los productos, la dificultad de almacenamiento y transporte de los mismos, y la limitada capacidad de las embarcaciones para recorrer grandes distancias; seguido por el de “Industria Desarrollada” donde las políticas públicas, los avances en la tecnología de pesca y la migración aumentaron el esfuerzo pesquero, y se expandieron las áreas de pesca; y por último, la “Industria en declive” donde ha habido una disminución en las capturas y la pesca de tiburones ya no es una actividad remunerable para la mayoría de los pescadores.

Durante el período “Comercio local” la vulnerabilidad de los tiburones estuvo definida por la productividad de las especies, los tiburones con mayor productividad tuvieron valores de vulnerabilidad bajos, mientras que los tiburones de crecimiento lento y maduración tardía obtuvieron valores de vulnerabilidad medios, a excepción de *S. mokarran* que posee la productividad más baja y presentó una vulnerabilidad alta.

En el período de “Industria desarrollada” ninguna especie alcanzó valores de vulnerabilidad baja, los tiburones pequeños y *G. cuvier* tuvieron vulnerabilidades medias mientras que el resto fueron altas. La susceptibilidad de ser capturadas incremento por el desarrollo tecnológico y el incremento de la flota pesquera.

Para el último período “Industria en declive” los tiburones pequeños y *G. cuvier* tuvieron vulnerabilidades bajas, las especies migratorias como *S. lewini*, *C. brevipinna*, y *C. limbatus* una vulnerabilidad media, y el resto de las especies valores altos. Las especies de tiburones con gran tamaño, baja productividad y hábitos

costeros son las que han tenido una alta susceptibilidad a ser capturados y por lo tanto una vulnerabilidad alta.

Los cambios en la vulnerabilidad de las especies del período de “Comercialización local” a “Industria en declive” se debieron al aumento en el esfuerzo pesquero, y mejora de los equipos de pesca y embarcaciones, pasaron de utilizar cayucos con velas, y redes hechas de fibras naturales o arpones, a usar lanchas de fibra de vidrio con motores fuera de borda, a barcos de mediana altura, y todo tipo de equipo de pesca desde palangres hasta redes de multifilamento. La disminución en los valores de vulnerabilidad para el período de “Industria en declive” fue provocada por la disminución en las capturas de tiburones grandes, esta pesquería se volvió poco redituable, por lo que la mayoría de los pescadores se ha enfocado en la pesca de cazones que siguen siendo comunes y tienen una baja vulnerabilidad en comparación al resto de las especies.

Referencias

Ainsworth CH. 2011. Quantifying species abundance trends in the Northern Gulf of California using local ecological knowledge. *Mar. Coast. Fish.* 3:190–218.

Arreguín-Sánchez F, del Monte Luna P, Zetina-Rejón MJ, Tripp-Valdez A, Albañez-Lucero MO, Mónica Ruiz-Barreiro T. 2017. Building an ecosystems-type fisheries management approach for the Campeche Bank, subarea in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. *Environ. Dev.* 22:143–149.

Barba-Meinecke B. 2014. *Historias de Mar Pescadores de Historia*. San Francisco de Campeche, México.: H. Ayuntamiento de Campeche 2012-2015.

Baum JK, Myers RA. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecol. Lett.* 7:135–145.

Baum JK, Myers RA, Kehler DG, Worm B, Harley SJ, Doherty PA. 2003. Collapse and Conservation of Shark Populations in the Northwest Atlantic. *Science* 299:389–392.

Beaudreau AH, Levin PS. 2014. Advancing the use of local ecological knowledge for assessing data-poor species in coastal ecosystems. *Ecol. Appl.* 24:244–56.

Bonfil R. 1997. Status of sharks resources in the Southern Gulf of Mexico and Caribbean: implications for management. *Fish. Res.* 29:101–117.

Burgess GH, Beerkircher LR, Cailliet GM, Carlson JK, Cortes E, Goldman KJ, Grubbs RD, Musick JA, Musyl MK, Simpfendorfer CA. 2005. Is the collapse of shark populations in the Northwest Atlantic Ocean and Gulf of Mexico real? *Fisheries* 30:19–26.

Castillo-Géniz JL, Márquez-Farias JF, Cruz MCR de la, Cortés E, Prado AC del. 1998. The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. *Mar. Freshw. Res.* 49:611.

Chin A, Kyne PM, Walker TI, McAuley RB. 2010. An integrated risk assessment for climate change: Analysing the vulnerability of sharks and rays on Australia's Great Barrier Reef. *Glob. Chang. Biol.* 16:1936–1953.

Chrysafi A, Kuparinen A. 2015. Assessing abundance of populations with limited data: Lessons learned from data-poor fisheries stock assessment. *Environ. Rev.* 24:25–38.

Clarke TM, Espinoza M, Romero Chaves R, Wehrtmann IS. 2018. Assessing the vulnerability of demersal elasmobranchs to a data-poor shrimp trawl fishery in Costa Rica, Eastern Tropical Pacific. *Biol. Conserv.* 217:321–328.

Cortés E, Arocha F, Beerkircher L, Carvalho F, Domingo A, Heupel M, Holtzhausen H, Santos MN, Ribera M, Simpfendorfer C. 2010. Ecological risk assessment of pelagic sharks caught in Atlantic pelagic longline fisheries. *Aquat. Living Resour.* 23:25–34.

Davidson LNK, Krawchuk MA, Dulvy NK. 2016. Why have global shark and ray landings declined: Improved management or overfishing? *Fish Fish.* 17:438–458.

Diario Oficial de la Federación, 2007. NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable detiburones y rayas, especificaciones para su aprovechamiento. Publicada el 14 de Febrero del 2007. Ciudad de México

Diario Oficial de la Federación. 2017. Carta Nacional Pesquera. Publicada el 11 de Junio de 2018.

Drew JA. 2005. Use of traditional ecological knowledge in marine conservation. *Conserv. Biol.* 19:1286–1293.

Duffy L, Griffiths S. 2017. Resolving potential redundancy of productivity attributes to improve ecological risk assessments. Document SAC-08-07C. Inter-American Tropical Tuna Commission. Scientific Advisory Committee. Eighth Meeting. La Jolla, California.

Dulvy NK, Fowler SL, Musick JA, Cavanagh RD, Kyne PM, Harrison LR, Carlson JK, Davidson LN, Fordham S V., Francis MP, et al. 2014. Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *Elife* 3:e00590.

Erlandson JM. 2001. The Archeology of Aquatic Adaptations: Paradigms for a New Millenium. *J. Archeol. Resereach* 9:287–350.

Espinoza-Tenorio A, Espejel I, Wolff M, Zepeda-Domínguez JA. 2011. Contextual factors influencing sustainable fisheries in Mexico. *Mar. Policy* 35:343–350.

Espinoza-Tenorio A, Montaña-Moctezuma G, Espejel I. 2010. Ecosystem-based analysis of a marine protected area where fisheries and protected species coexist. *Environ. Manage.* 45:739–750.

Espinoza-Tenorio A, Wolff M, Espejel I, Montaña-Moctezuma G. 2013. Using traditional ecological knowledge to improve holistic fisheries management: Transdisciplinary modeling of a lagoon ecosystem of Southern Mexico. *Ecol. Soc.* 18.

FAO. 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*. Rome. 223 pp.

Ferretti F, Curnick D, Liu K, Romanov E V., Block BA. 2018. Shark baselines and the conservation role of remote coral reef ecosystems. *Sci. Adv.* 4.

Ferretti F, Myers RA, Serena F, Lotze HK. 2008. Loss of large predatory sharks from the Mediterranean Sea. *Conserv. Biol.* 22:952–964.

Ferretti F, Worm B, Britten GL, Heithaus MR, Lotze HK. 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecol. Lett.* 13:1055–1071.

Furlong-Estrada E, Galván-Magaña F, Tovar-Ávila J. 2017. Use of the productivity and susceptibility analysis and a rapid management-risk assessment to evaluate the vulnerability of sharks caught off the west coast of Baja California Sur, Mexico. *Fish. Res.* 194:197–208.

Furlong-Estrada E, Tovar-Ávila J, Rios-jara E. 2014. Evaluación de riesgo ecológico de la pesca artesanal para los tiburones capturados en la entrada del Golfo de California. *Hidrobiológica* 24:83–97.

Gallagher AJ, Kyne PM, Hammerschlag N. 2012. Ecological risk assessment and its application to elasmobranch conservation and management. *J. Fish Biol.* 80:1727–1748.

Hernandez A, Kempton W. 2003. Changes in fisheries management in Mexico :

Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean Coast. Manag.* 46:507–526.

Hobday AJ, Smith A, Webb H, Daley R, Wayte S, Bulman C, Dowdney J, Williams A, Sporcic M, Dambacher J, et al. 2007. Ecological Risk Assessment for Effects of Fishing: Methodology. Report R04/1072 for the Australian Fisheries Management Authority. Canberra.

Hobday AJ, Smith ADM, Stobutzki IC. 2004. Ecological risk Assessment for Australian Commonwealth Fisheries. Final Report Stage 1. Hazard identification and preliminary risk assessment.

Hobday AJ, Smith ADM, Stobutzki IC, Bulman C, Daley R, Dambacher JM, Deng RAA, Dowdney J, Fuller M, Furlani D, et al. 2011. Ecological risk assessment for the effects of fishing. *Fish. Res.* 108:372–384.

Jabado RW, Al Ghais SM, Hamza W, Henderson AC. 2015. The shark fishery in the United Arab Emirates: An interview based approach to assess the status of sharks. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 25:800–816.

Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury RH, Cooke R, Erlandson J, Estes JA, et al. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629–637.

Kittinger JN, Blight LK, Gedan KB, Mcclenachan L. 2015. Introduction. In: Kittinger JN, Mcclenachan L, Gedan KB, Blight LK, editors. *Managing Human Legacies in a Changing Sea*. University of California Press. p. 1–11.

Mcclenachan L, Ferretti F, Baum JK. 2012. From archives to conservation: Why historical data are needed to set baselines for marine animals and ecosystems. *Conserv. Lett.* 5:349–359.

Milton DA. 2001. Assessing the susceptibility to fishing of populations of rare trawl bycatch: Sea snakes caught by australia's northern prawn fishery. *Biol. Conserv.* 101:281–290.

Morgan AC, Burgess GH. 2005. Fishery-dependent sampling: total catch, effort and

catch composition. *Manag. Tech. elasmobranch Fish.*:182.

Musick JA. 1999. Criteria to Define Extinction Risk in Marine Fishes: The American Fisheries Society Initiative. *Fisheries* 24:6–14.

Myers RA, Baum JK, Shepherd TD, Powers SP, Peterson CH. 2007. Cascading Effects of the Loss of Apex Predatory Sharks from a Coastal Ocean. *Science*. 315:1846–1850.

Newman SE. 2016. Sharks in the jungle: real and imagined sea monsters of the Maya. *Antiquity* 90:1522–1536.

Patrick W, Spencer P, Ormseth O, Cope J, Field J, Kobayashi DR, Gedamke T, Cortés E, Bigelow K, Overholtz WJ, et al. 2009. Use of productivity and susceptibility indices to determine the vulnerability of a stock: with example applications to six US fisheries. *NOAA Tech. Memo.*:90.

Patrick WS, Spencer P, Link J, Cope J, Field J, Kobayashi D, Lawson P, Gedamke T, Cortés E, Ormseth O, et al. 2010. Using productivity and susceptibility indices to assess the vulnerability of United States fish stocks to overfishing. *Fish. Bull.* 108:305–322.

Pauly D. 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome fisheries. *Trends Ecol. Evol.* 10:430.

Pérez-Jiménez JC, Mendez-Loeza I. 2015. The small-scale shark fisheries in the southern Gulf of Mexico: Understanding their heterogeneity to improve their management. *Fish. Res.* 172:96–104.

Punt AE, Walker TI. 1998. Stock assessment and risk analysis for the school shark (*Galeorhinus galeus*) off southern Australia. *Mar. Freshw. Res.* 49:719–731.

Roux MJ, Tallman RF, Martin ZA. 2019. Small-scale fisheries in Canada's Arctic: Combining science and fishers knowledge towards sustainable management. *Mar. Policy* 101:177–186.

Sáenz-Arroyo A, Revollo-Fernández D. 2016. Local ecological knowledge concurs

with fishing statistics: An example from the abalone fishery in Baja California, Mexico. *Mar. Policy* 71:217–221.

SAGARPA. 2017. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Saldaña-Ruiz LE. 2017. The artisanal shark fishery in the Gulf of California: Historical catch reconstruction and vulnerability of shark species to the fishery. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Scandol J, Ives M, Lockett M. 2009. Development of national guidelines to improve the application of risk-based methods in the scope, implementation and interpretation of stock assessments for data-poor species *Cronulla* Fisheries Research Centre of Excellence. :184.

Shepherd TD, Myers RA. 2005. Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico. *Ecol. Lett.* 8:1095–1104.

Silvano RAM, Valbo-Jørgensen J. 2008. Beyond fishermen's tales: contributions of fishers' local ecological knowledge to fish ecology and fisheries management. *Environ. Dev. Sustain.* 10:657–675.

Stobutzki IC, Miller MJ, Heales DS, Brewer DT. 2002. Sustainability of elasmobranchs in a tropical prawn fishery. *Fish. Bull.* 100:800–821.

Thurstan RH, McClenachan L, Crowder LB, Drew JA, Kittinger JN, Levin PS, Roberts CM, Pandolfi JM. 2015. Filling historical data gaps to foster solutions in marine conservation. *Ocean Coast. Manag.* 115:31–40.

Tovar-Ávila J, Furlong-Estrada E, Castillo-Géniz JL. 2016. Evaluación de riesgo ecológico por efectos de las pesquerías de tiburón mexicanas para las especies incluidas en el Apéndice II de la CITES. In: Castillo-Géniz JL, Tovar-Ávila J, editors. *Tiburones Mexicanos de importancia pesquera en la CITES*. México: Instituto Nacional de Pesca. p. 95.

Turvey ST, Risley CL, Moore JE, Barrett LA, Yujiang H, Xiujiang Z, Kaiya Z, Ding W.

2013. Can local ecological knowledge be used to assess status and extinction drivers in a threatened freshwater cetacean? *Biol. Conserv.* 157:352–360.

Uribe-Martínez JA. 1984. Aspectos importantes de la pesquería de tiburón y cazón en el estado de Campeche, México. Ciudad del Carmen.

Uribe-Martínez JA. 1993. Distribución, Abundancia, Estructura y Biometría de Especies de Tiburones Capturados en la Sonda de Campeche, México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Walker T, Dowdney J, Williams A, Fuller M, Webb H, Bulman C, Sporcic M, Wayte S. 2007. Ecological Risk Assessment for the Effects of Fishing : Report for the Shark gillnet component of the Gillnet Hook and Trap Sector of the Southern and Eastern Scalefish and Shark Fishery. Report for the Australian Fisheries Management Authority. Canberra.

Walker TI. 2005. Management measures. In: Musick JA, Bonfil R, editors. Management techniques for elasmobranch fisheries. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations. p. 216–242.

Wayte S, Dowdney J, Williams A, Sporcic M, Fuller M, Smith T. 2007. Ecological Risk Assessment for effects of Fishing: Report for the otter trawl sector of the Southern and Eastern Scalefish and Shark Fishery. Canberra.

Worm B, Davis B, Kettener L, Ward-Paige CA, Chapman D, Heithaus MR, Kessel ST, Gruber SH. 2013. Global catches, exploitation rates, and rebuilding options for sharks. *Mar. Policy* 40:194–204.

Anexos

1. Entrevista realizada a los pescadores de Campeche

Fecha: _____

Localidad: _____

Nombre: _____ Edad: _____

1.-Lugar de origen: _____

2.- ¿Vienes de familia de pescadores? Sí No ¿Cuántas generaciones? _____

3.- ¿Cuánto tiempo lleva pescando en el área? _____

4.- ¿A qué pesquerías se dedica? _____

5.- ¿Se ha dedicado en algún momento de su vida a la pesca de tiburón? Sí No (si no pasar a imágenes)

6.- ¿Qué tipo de embarcación utilizaba? _____ Equipo de pesca

7.- ¿A qué edad comenzó a pescar tiburones? _____ ¿Cuántos pescadores había? _____

8.- ¿Se dedica actualmente a la pesca de tiburón?

Sí ¿Cuánto tiempo se ha dedicado a esta actividad?

No ¿Cuánto tiempo se dedicó a esta actividad? _____

9.- ¿Por qué ya no se dedica a la pesca de tiburón?

Costo muy alto Pocas capturas Peligro Edad Contaminación

Otro: _____

Estamos intentando identificar los cambios que ha habido en la pesquería de tiburón y cazón en Campeche por lo que buscamos hacer comparaciones en el tiempo de los equipos, áreas, especies y frecuencia con la que se capturan, me podría decir lo que sepa de las imágenes que le mostraré a continuación

I. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No

2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____

3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)

Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo

Otro: _____

4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____

5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____

6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido

8ª.- ¿Desde hace cuánto?

9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____

10ª.- ¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____

11ª.- ¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____

Observaciones: _____

II. Nombre común: _____

- 1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
- 2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____
- 3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)
- Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo
- Otro: _____
- 4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____
- 5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____
- 6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____
- 7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido
- 8ª.-¿Desde hace cuánto?
- 9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____
- 10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____
- 11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____
- Observaciones: _____

III. Nombre común: _____

- 1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
- 2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____
- 3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)
- Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo
- Otro: _____
- 4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____
- 5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____
- 6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____
- 7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido
- 8ª.-¿Desde hace cuánto?
- 9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____
- 10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____
- 11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____
- Observaciones: _____

IV. Nombre común: _____

- 1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
- 2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____
- 3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)
- Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo
- Otro: _____
- 4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____
- 5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____
- 6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido
8ª.-¿Desde hace cuánto?
9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____
10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____
11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____
Observaciones: _____

V. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____
3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)
Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo
Otro: _____
4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____
5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____
6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____
7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido
8ª.-¿Desde hace cuánto?
9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____
10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____
11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____
Observaciones: _____

VI. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____
3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)
Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo
Otro: _____
4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____
5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____
6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____
7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido
8ª.-¿Desde hace cuánto?
9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____
10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____
11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____
Observaciones: _____

VII. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No
2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____

3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)

Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo

Otro: _____

4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____

5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____

6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido

8ª.-¿Desde hace cuánto?

9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____

10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____

11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____

Observaciones: _____

VIII. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No

2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____

3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)

Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo

Otro: _____

4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____

5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____

6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido

8ª.-¿Desde hace cuánto?

9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____

10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____

11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____

Observaciones: _____

IX. Nombre común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No

2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____

3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)

Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo

Otro: _____

4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____

5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____

6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido

8ª.-¿Desde hace cuánto?

9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____

10ª.-¿Cómo lo pescó? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____

11ª.-¿En qué área lo pescó? La misma Diferente ¿Cuál? _____

Observaciones: _____

X. Nombre Común: _____

1a.- ¿Lo capturó alguna vez? Sí No

2ª.- ¿En qué área lo capturaba? _____ Profundidad: _____

3ª.- ¿Qué equipo de pesca utilizaba? _____ (años en los que lo utilizaba)

Arpón Palangre/Cimbra Red: tiburonera Cazonera Anzuelo

Otro: _____

4ª.- ¿Utilizaba carnada? Sí No ¿Cuál? _____

5ª.- ¿Cuántos capturaba por viaje? _____ ¿Días de viaje? _____

6ª.- ¿Cuánto llegó a ser su mayor captura? _____ Año/Edad _____

7ª.- Usted considera que esta especie ha: Aumentado Mantenido igual Disminuido

8ª.-¿Desde hace cuánto?

9ª.- ¿Cuándo lo pescó por última vez? _____

10ª.-¿Cómo lo pesco? (Dirigida incidental) ¿Con que equipo de pesca? _____

11ª.-¿En qué área lo pesco? La misma Diferente ¿Cuál? _____

Observaciones: _____