

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“ANÁLISIS DEMOGRAFICO DE *Heterodontus mexicanus* EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA”

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O
PRESENTA:

RICARDO HAZDRÚBAL DOMÍNGUEZ REZA

ENSENADA, B. C., AGOSTO DEL 2015

Resumen

Los modelos demográficos son herramientas que se han usado para la implementación de medidas de manejo para especies que cuentan con muy pocos datos sobre su captura, esfuerzo pesquero, así como su abundancia. *Heterodontus mexicanus* al ser una especie que se captura de manera incidental y no tener una importancia comercial, cuenta con pocos estudios para su manejo. Por lo cual, en el presente estudio se aplicó un modelo demográfico a esta especie, ya que es prioritario para entender el comportamiento de la población ante la presión pesquera y sus posibles efectos en el Alto Golfo de California, donde se plantearon cuatro escenarios conformados por diferentes tasas de supervivencia; en uno de ellos se incluye un 37% de incertidumbre de captura ilegal o no reportada y en otro el período de veda actual para el Pacífico mexicano para la pesquería de elasmobranquios. Se realizó un análisis de elasticidad para conocer qué tasa vital es más importante para el crecimiento poblacional de esta especie en la zona. Los resultados del análisis demográfico, sugieren que al sólo contemplar la mortalidad natural así como la mortalidad total (Z) la población de *H. mexicanus* se ve en aumento. Por otro lado al incluir el porcentaje de pesca no reportada, la especie no presenta un crecimiento ($r < 0$ y $\lambda < 1$); sin embargo al considerar el periodo de veda la población muestra un crecimiento, teniendo valores positivos en la tasa intrínseca de crecimiento poblacional. El análisis de elasticidad mostró que los estadios juveniles son los más importantes en la población, al presentar una mayor tasa de supervivencia en comparación con los estadios adultos. Este estudio sugiere que el periodo de veda está teniendo efectos positivos para la población de esta especie en el Alto Golfo de California, sin embargo es necesario aumentar el tamaño de la muestra y de la zona de estudio para tener resultados más concretos.

"ANÁLISIS DEMOGRAFICO DE *Heterodontus mexicanus* EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA."

T E S I S
QUE PRESENTA:
RICARDO HAZDRÚBAL DOMÍNGUEZ REZA

APROBADA POR:



Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Presidente del Jurado



M. en C. María del Carmen Rodríguez
Medrano
Sinodal propietario



M. en C. Erick Cristóbal Oñate González
Sinodal propietario



Dr. Juan Guillermo Vaca Rodríguez
Sinodal propietario

A mis padres (Gloria y Pedro),

A mis hermanas (Cary y Nana),

A mi Mamá Bel y

Sobre todo a ti Tío Barón (en algún momento nos volveremos a encontrar)

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Marinas por haber sido mi segunda casa y testigo de mi formación

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki por haberme aceptado y aguantado durante 4 años que estuve de metiche en el laboratorio. Encontré en usted un gran ejemplo y sobre todo un gran amigo.

Al laboratorio de Ecología Pesquera, por haberme enseñado tanto y no frustrarse cuando estaba de preguntón. Carmencita (mi madre adoptiva) gracias por tus enseñanzas y cuidados. Cesar (tata) y Emi ustedes fueron los primeros en darme la mano al entrar al laboratorio al confiar en mí en las salidas de campo, estoy muy agradecido con ustedes. Kena como olvidar la primer salida a Laguna Manuela escuchando los tigres del norte con el buen Mata, muchas gracias por todo. Erick (jefe) y Luz gracias por siempre estar para enseñarme y responder mis preguntas por más tontas que fueran. En general estoy muy agradecido con todo el laboratorio.

Masao gracias por el apoyo, consejos y enseñanzas que me brindaste para poder realizar este trabajo.

Al Dr. Juan Gabriel Correa por guiarme a lo largo de mi formación y siempre estar para escucharme. En verdad gracias.

Al Dr. Juan Guillermo Vaca Rodríguez gracias por sus comentarios y sugerencias en este trabajo.

A mi familia, por siempre estar cuando los necesitaba y siempre apoyarme, por más locos que fueran mis sueños. Los amo mucho

A mis amigos de la facultad. En ustedes vi mi segunda familia.

Isabel gracias por apoyarme en todo y siempre guiarme para poder conseguir mis sueños....Te amo mashiiiiin.

Índice

Introducción.....	1
Objetivos.....	7
Hipótesis.....	8
Área de estudio.....	9
Materiales y Métodos.....	11
Resultados.....	19
Discusión.....	26
Conclusiones y Recomendaciones.....	29
Bibliografía.....	30

Lista de Tablas

Tabla I.- Mortalidades Naturales calculadas por tres métodos indirectos (Chen y Watanabe (1989), Jensen (1996) y Hoening (1983)).....	19
Tabla II.- Mortalidades por Pesca (F), Pesca real (Fc) y Pesca corregida con veda (Fv).....	20
Tabla III.- Valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 1.....	22
Tabla IV.- Valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 2.....	23
Tabla V.- Valores de la tasa intrínseca crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 3.....	24

Tabla VI.- Valores de la tasa intrínseca crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario cuatro.....	25
--	-----------

Lista de Figuras

Figura 1.- Foto de <i>Heterodontus mexicanus</i> (Tomada de Santana et.al, 2004).....	5
Figura 2.- Mapa del área de estudio (polígono azul) en el Alto Golfo de California.....	10
Figura 3.-Número de oocitos pre-ovulatorios contra la longitud total de la hembra.....	21
Figura 4.- Elasticidad de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad para <i>Heterodontus mexicanus</i> contemplando sólo la mortalidad natural.....	25

Introducción

Un modelo demográfico se enfoca en las tasas vitales del ciclo de vida, y analiza sus efectos tanto en la dinámica como en la estructura de una población (Caswell 2001). Éste análisis asume una distribución de edades estable, es decir, cada clase de edad dentro de una población tiene una tasa intrínseca de crecimiento (r) que es independiente del tiempo, esto implica tasas constantes de mortalidad y fertilidad con reclutamiento año con año (GFCM, 2010).

Desde la década de los noventa, los modelos demográficos han sido herramientas de gran ayuda para proporcionar medidas de manejo para especies o poblaciones de tiburones que se encuentren bajo un régimen de explotación pesquera y/o en categoría de riesgo. Estos modelos han sido dirigidos a poblaciones de elasmobranquios de las cuales se cuenta con escasos datos sobre su captura, el esfuerzo pesquero, así como su abundancia (Booth *et al.*, 2011; Chapple & Botsford, 2013; Mejía-Falla, 2012).

Para que un modelo demográfico sea confiable, necesita información completa sobre los parámetros de las historias de vida (edad y crecimiento, reproducción) de las especies (Cortés, 2007). El modelo requiere sólo la información de la población de hembras confinadas a un rango de edades, debido a que el parámetro reproductivo está dado por las hembras y no por los machos (Leslie, 1945). Para esto es necesario hacer uso de tablas de vida.

Las tablas de vida son modelos que asumen una distribución estable por edades, es decir, cada cohorte tendrá una tasa intrínseca de crecimiento, siendo ésta independiente del tiempo (Cortés, 1998).

Para poder asumir si existe un crecimiento o no en la población es necesario calcular la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, la cual es una medida en el cambio de la población, es decir, cuando los nacimientos superan las muertes per cápita, r tendrá un valor positivo ($r > 0$), lo que implica que la población está en crecimiento y por el contrario, si las muertes superan los nacimientos, el valor de r será negativo ($r < 0$), mostrando una disminución en la población (Gotelli, 2008).

Por otro lado, la Matriz de Leslie es otro método matemático que mediante la tasa de fecundidad (F) y la tasa de supervivencia (P), determina el crecimiento demográfico de una población (Montshiwa, 2007).

La Matriz de Leslie puede tomar distintas formas, esto va a depender de cómo se tomen en cuenta los estadios (Simpfendorfer, 2005). Un ejemplo de cómo se puede representar la tasa de fecundidad y la tasa de supervivencia en la matriz de transición es el siguiente:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & F1 & F2 & \dots & Fn \\ P1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Pn & 0 \end{bmatrix}$$

Una pieza importante para la interpretación de los modelos matriciales, es conocer y entender el cambio que existe en las tasas vitales (fecundidad y mortalidad) y su efecto en el crecimiento de la población en estudio, lo que se conoce como sensibilidad. Éste es uno de los análisis que nos ayuda para la implementación de medidas de manejo en las pesquerías. Por otro lado el análisis de elasticidad ayuda a identificar el estadio en el que los más mínimos cambios en las tasas vitales, afectan de mayor manera al crecimiento poblacional (Simpfendorfer, 2005).

Pesquerías en México

Las pesquerías en México son consideradas una fuente de alimento importante a nivel nacional e internacional, teniendo entre las más importantes la dirigida a tiburón y cazón, ubicándose en el octavo lugar entre las pesquerías a nivel nacional para el 2013. Para el mismo año, esta pesquería reportó un volumen total de captura de 27,430 toneladas, siendo Sinaloa el estado con la mayor producción, al reportar el 20.7% de la producción en las principales entidades del Pacífico mexicano (Sinaloa, Baja California, Baja California Sur y Nayarit) (CONAPESCA, 2013).

Las pesquerías de elasmobranquios en México no se encuentran reguladas de una manera adecuada, lo que provoca que existan problemas para el manejo de las mismas, ya que no se cuenta con información detallada y cuantitativa sobre la ubicación y captura en los campamentos artesanales (Bizarro et al., 2007).

Esto genera un sesgo en la colecta de información para historias de vida de las especies objetivo, lo que limita la realización de estudios pesqueros que sirvan para regular dichas pesquerías.

En 2012 entró en vigor la veda para tiburones y rayas en el Pacífico mexicano, que comprende del 1 de mayo al 31 de julio (DOF, 2012). Para la zona de Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo el periodo comprende del 1 de mayo al 30 de junio. Por último, el área comprendida por los estados de Tabasco, Yucatán y Campeche tiene un periodo del 1 de mayo al 29 de agosto (DOF, 2013). Sin embargo aún se desconocen los efectos que ésta tendrá sobre las poblaciones de elasmobranquios.

Descripción de la especie

Heterodontus mexicanus es una especie de tiburón demersal, el cual presenta un color de gris a marrón con manchas negras grandes por todo el organismo (figura 1). Su talla máxima es de 70 cm y al nacer presenta una talla de 14 cm (Compagno, 1995). No presenta dimorfismo sexual marcado y su tipo de reproducción es ovípara (Compagno, 1995). Esta especie se distribuye en el Pacífico Este, desde México (incluyendo el Golfo de California) hasta Costa Rica y Colombia, con menor número de observaciones en Perú y Ecuador (Fishbase, 2012).

Su alimentación consta de crustáceos y peces bentónicos, manteniendo hábitos alimentarios nocturnos (Santana *et.al*, 2004).

Esta especie no es de gran importancia comercial, sin embargo en el Alto Golfo de California, forma parte importante como pesca incidental en la pesquería de arrastre (Santana *et.al*, 2004).



Figura 1.- Foto de *Heterodontus mexicanus* (Tomada de Santana *et.al*, 2004)

Antecedentes.

En un estudio realizado por Anislado-Tolentino (2000) con la especie *Sphyrna lewini* en el Pacífico mexicano, donde observó que la mortalidad total de dicha especie demuestra que la pesquería está dirigida a organismos sexualmente inmaduros. En este estudio también observó que debido a que el valor de la tasa intrínseca del crecimiento poblacional (r) es negativo, infiere que ésta especie no resiste la pesca en la zona.

Márquez-Farías y colaboradores (1997) realizaron un estudio en el sureste del Golfo de México con *Sphyrna tiburo*, donde observaron que el potencial reproductivo es superior al registrado para otras especies. Ellos sugirieron que la información dada por dicho estudio servirá para estrategias de manejo futuras.

Smith y colaboradores (2008) realizaron un análisis demográfico para *Dasyatis dipterura* en Bahía Magdalena, México. Ellos observaron que esta especie de batoideo demersal presenta una tasa intrínseca baja y una resistencia limitada a la presión pesquera.

Por otro lado Fajardo-Yamamoto (2014), realizó un estudio de demografía para dos especies de tiburón (*Mustelus henlei* y *Mustelus californicus*) y dos especies de rayas (*Rhinobatos productus* y *Raja inornata*), en el cual concluye que todas las especies estudiadas se ven afectadas por la pesca, ya que obtuvieron valores de $r < 0$.

Tovar-Ávila y colaboradores (2010) realizaron un estudio en Victoria, Australia, con *Heterodontus portusjacksoni*, en el cual observaron que al no tener una presión pesquera, la tasa intrínseca de crecimiento poblacional muestra un crecimiento ($r > 0$), al ser más pequeña la mortalidad que el incremento en la población.

Existen muy pocos datos sobre su captura *H. mexicanus* y ningún registro sobre el esfuerzo pesquero dado que es una especie con poca importancia comercial, debido a esto, no hay suficientes estudios sólidos en México orientados hacia ésta especie. Por lo tanto el análisis demográfico de esta especie en el Alto Golfo de California es prioritario para entender el comportamiento de la población ante la presión pesquera y sus posibles efectos.

Objetivos

Objetivo General

Determinar mediante un análisis demográfico el comportamiento de la población de *Heterodontus mexicanus* en el Alto Golfo de California ante distintos escenarios.

Objetivos particulares

- Estimar la mortalidad natural (M) para la especie por medio de 4 métodos indirectos.
- Determinar la mortalidad total (Z) para *Heterodontus mexicanus* en el Alto Golfo de California.
- Calcular la mortalidad por pesca corregida (F_c) sumando el porcentaje de pesca no reportada documentado por Cisneros-Montemayor y colaboradores en 2013.
- Estimar la mortalidad por pesca considerando el periodo de veda (F_v), establecido por la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura para el Pacífico mexicano.
- Construir tablas de vida para cada uno de los escenarios.
- Realizar análisis de elasticidad para el escenario que sólo contempla la mortalidad natural (M).

Hipótesis

El valor de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) va a decrecer al agregar la tasa de mortalidad por pesca corregida.

Existirá un aumento en la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) al incluir el valor mortalidad por pesca corregida con veda.

Los estadios juveniles van a presentar una elasticidad superior a la de los estadios adultos.

Área de estudio

El Golfo de California (figura 2) tiene una longitud aproximada de 1000 km y 150 km de ancho, se extiende por más de 9 grados de latitud y se considera parcialmente cerrado (Wilkinson, *et al.*, 2009). Éste se puede dividir en dos grandes regiones, el Alto Golfo de California (Región Norte), que comprende de las islas Ángel de la Guarda y Tiburón hacia el norte y la región sur a partir de estas islas hasta la boca o entrada del Golfo (Álvarez-Borrego, 1983).

La parte norte en la cual se llevó acabo el estudio, es una zona somera con una amplitud de mareas vivas de hasta 10 metros. Los vientos del noreste son predominantes en invierno y los del sureste en verano y otoño, aunque con menor intensidad (Roden, 1964).

Las surgencias en la zona son provocadas por estos patrones de viento, principalmente en la parte continental durante el invierno (Valdez-Holguín *et al.* 1999 en Lara-Lara, *et al.*, 2008).

La gran productividad que presenta la zona hace de esta, una región de suma importancia para el sector pesquero y es por ello que repercute en los ingresos económicos del país (Lara-Lara, *et al.*, 2008).

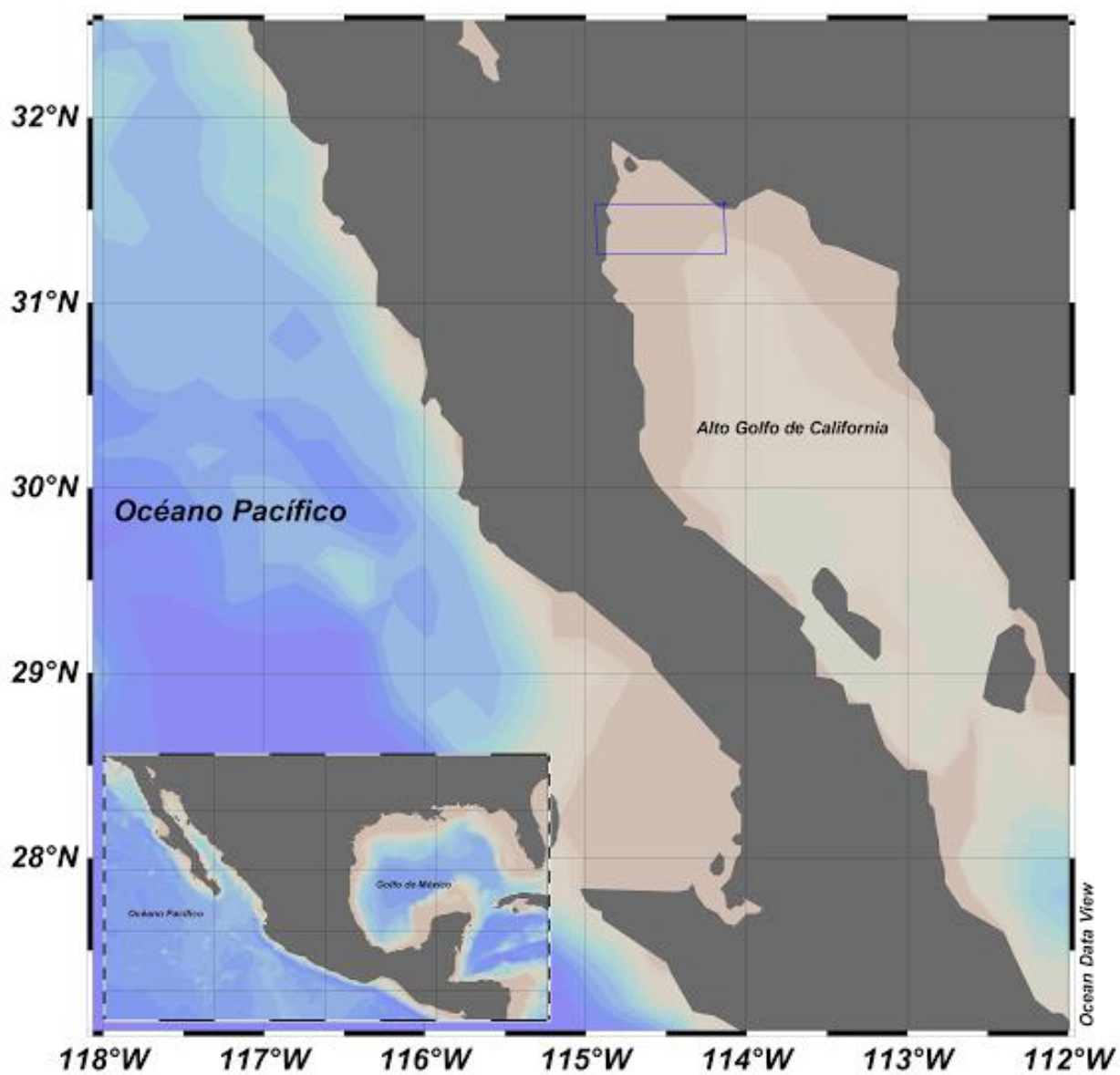


Figura 2.- Mapa del área de estudio (polígono azul) en el Alto Golfo de California.

Materiales y métodos

Parámetros demográficos

Los parámetros demográficos de este trabajo se obtuvieron de una base de datos del Laboratorio de Ecología Pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), realizada con muestras tomadas en San Felipe (Baja California) y Puerto Peñasco (Sonora) por parte de los proyectos “Biología de la Pesquería de Elasmobranchios del Alto Golfo de California” (UCMEXUS-CONACYT-CICESE) e “Historias de vida, pesca y conservación de los Elasmobranchios que habitan la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado” (SEMARNAT-2002-C01-1129), ambos estudios fueron realizados durante un periodo comprendido entre mayo de 2002 y abril de 2004.

Mortalidad natural (M)

La mortalidad natural fue calculada mediante tres métodos indirectos:

Jensen (1996) menciona que existe una relación teórica entre la mortalidad natural y el valor del coeficiente de crecimiento (k) de la ecuación de Von Bertalanffy:

$$M = 1.6K \quad (1)$$

Hoening (1983) utiliza la edad máxima ($t_{\max}$) de la especie, con el supuesto de que las especies que tienen una vida más larga, tienen una mortalidad con ritmo más lento:

$$\ln Z = 1.46 - 1.01 \ln t_{\max} \quad (2)$$

Por otro lado Chen y Watanabe (1989) asumen que al representar de forma gráfica la mortalidad de los organismos, ésta tendrá forma de “U”, teniendo los máximos en los primeros y últimos estadios:

$$M(t) = \begin{cases} \frac{k}{1 - e^{-k(t-t_0)}}, t \leq t_m \\ \frac{k}{a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2}, t \geq t_m \end{cases}$$

Donde;

$$\begin{cases} a_0 = 1 - e^{-k(t_m-t_0)} \\ a_1 = k e^{-k(t_m-t_0)} \\ a_2 = -\frac{1}{2} k^2 e^{-k(t_m-t_0)} \end{cases} \quad (3)$$

$$t_m = -\frac{1}{k} \ln(1 - e^{kt_0}) + t_0$$

k es el coeficiente de crecimiento de la especie y t_0 es el tiempo en el que se asume que la longitud es igual a 0, ambos son parámetros de la fórmula de Von Bertalanffy.

Mortalidad Total (Z)

Para calcular la mortalidad total (Z) se utilizó la fórmula propuesta por Beverton y Holt (1956), adaptada por Márquez-Farías y colaboradores en 1997, la cual incorpora datos de pesquerías.

$$Z = K \left[\frac{L^{\infty} - L_m}{L_m - L'} \right] \quad (4)$$

donde K (coeficiente de crecimiento) y L^{∞} (longitud máxima esperada de la especie) son valores obtenidos de la ecuación de Von Bertalanffy, L' es la longitud de primera captura y L_m es la longitud media de la muestra.

Mortalidad por Pesca (F)

La mortalidad por pesca se calculó a partir de la diferencia entre a mortalidad total (Z) y la mortalidad natural (M).

$$F = Z - M \quad (5)$$

Mortalidad por pesca corregida (F_c)

Para calcular la mortalidad por pesca corregida, se sumó un 37% a la mortalidad por pesca, el cual incluye la pesca ilegal y la no reportada, esto descrito por Cisneros-Montemayor y colaboradores en el 2013.

Para poder agregar dicho porcentaje al valor de la mortalidad por pesca se utilizó la ecuación descrita por Ricker (1975) en la cual se transforma el valor de mortalidad a mortalidad porcentual:

$$A = 1 - e^{-Z} \quad (6)$$

donde; A es la pesca porcentual y Z la pesca total. Si se asume que la mortalidad natural no está afectando a la población ($M=0$), la formula quedaría de la siguiente forma:

$$A = 1 - e^{-F} \quad (7)$$

Una vez hecha la transformación a mortalidad porcentual, se puede sumar el porcentaje de pesca no reportada. El resultado de esta operación se transforma a mortalidad por pesca corregida por medio de la siguiente ecuación:

$$F_c = -\ln|1-A| \quad (8)$$

Donde " F_c " es la mortalidad por pesca corregida y "A" la mortalidad porcentual anual.

Mortalidad por pesca corregida con veda (F_v)

La mortalidad por pesca corregida con veda se estimó a partir de la diferencia de la pesca corregida (F_c) y el porcentaje de tiburones que no son pescados en los meses de mayo, junio y julio (30%). Para este estudio se hizo uso de la metodología descrita por Fajardo-Yamamoto en 2014.

Tablas de vida

Para hacer uso de las tablas de vida se hicieron los siguientes cálculos para obtener los parámetros de supervivencia y fecundidad:

Supervivencia (l_x)

El cálculo de la supervivencia se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$l_x = l_{x-1}e^{-Z} \quad (9)$$

Donde l_{x-1} es la supervivencia a la edad $x-1$ y Z es la mortalidad.

Esta se define como la probabilidad de que un individuo sobreviva de la edad x a la edad $x+1$, donde se espera que el recluta inicial, sea remplazado, por lo que para la edad 0 se asume que el valor de la supervivencia es 1 (Simpfendorfer, 2005).

Fecundidad (m_x)

Para obtener la fecundidad se calculó una regresión lineal entre el número de oocitos pre-ovulatorios (≥ 15 mm) y la longitud total (LT) de la hembra, esto siguiendo la metodología propuesta por Tovar-Ávila y colaboradores en 2007, asumiendo que existe una proporción macho-hembra de 1:1.

Tasa neta reproductiva (R_0).

La tasa neta reproductiva se define como el número de crías hembras por ciclo de vida de una hembra (Simpfendorfer, 2005). Ésta fue calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$R_0 = \sum(l_x * m_x) \quad (10)$$

Siendo lx la supervivencia y mx la fecundidad previamente calculadas.

Tiempo Generacional (G)

Este se define como el tiempo promedio entre nacimiento de un padre al de su primer conjunto de crías (Simpfendorfer, 2005), la cual se calculó de la siguiente manera:

$$G = \frac{\sum(lx * mx * x)}{R0} \quad (11)$$

Tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r)

La tasa intrínseca de crecimiento poblacional se define de la siguiente manera:

$$r \approx \frac{\ln(R0)}{G} \quad (12)$$

La cual mediante iteraciones de la ecuación de Euler-Lotka (Simpfendorfer, 2005). Para así buscar el valor más cercano a 1, como se observa en la siguiente ecuación:

$$\sum lxmxe^{-rx} = 1 \quad (13)$$

Tiempo de Duplicación (t2)

El tiempo de duplicación es el tiempo que tarda la población en duplicar el número actual de individuos de la misma. Éste se calculó con la siguiente ecuación:

$$t2 = \frac{\ln(2)}{r} \quad (14)$$

Tasa finita de crecimiento poblacional

La tasa finita de crecimiento poblacional mide el cambio de una población al año siguiente y está dada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = e^r \quad (15)$$

Creación de escenarios

Los escenarios de este trabajo se plantearon de la siguiente manera:

- En el Escenario uno sólo se contempla la mortalidad natural (M).
- En el Escenario dos se contempla la mortalidad total (Z).
- En el Escenario tres se incluye la mortalidad por pesca corregida ($M+Fc$).
- En el escenario cuatro se involucra la mortalidad por pesca corregida por veda ($M+Fv$).

Modelos matriciales

La probabilidad de supervivencia se puede obtener mediante la siguiente ecuación (Gotelli, 2008):

$$P_i = \frac{l_i}{l(i-1)} \quad (16)$$

Donde l_i es la supervivencia a la edad i .

Una vez obtenida la probabilidad de supervivencia, ésta se multiplica por la probabilidad de fecundidad (m_i) para así calcular la tasa de fecundidad de la especie (Gotelli, 2008), como se ve en la siguiente ecuación:

$$F_i = m_i P_i \quad (17)$$

Elasticidad

Para realizar el análisis de elasticidad se calcularon las tasas de supervivencia para cada clase de edad y se agruparon por juveniles y adultos, considerando estadio adulto a todos aquellos que fueran igual o mayores a la edad de primera madurez.

Este análisis se desarrolló mediante un protocolo (algoritmo) diseñado en el software matlaB R2009b, utilizando la siguiente ecuación:

$$e_{ij} = \frac{a_{ij}}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} \quad (18)$$

Resultados

Mortalidad Natural (M)

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo de la mortalidad natural se utilizaron tres métodos indirectos (Tabla I).

Tabla I.- Mortalidades naturales calculadas por tres métodos indirectos (Chen y Watanabe (1989), Jensen (1996) y Hoening (1983)).

Método	Mortalidad Natural
Chen y Watanabe (1989)	0.335963-(-0.474220)
Jensen (1996)	0.19792
Hoening (1983)	0.12997

Los métodos descritos por Jensen (1996) y Hoening (1983) no contemplan una variación en la mortalidad al haber cambio en las edades por lo que sólo presenta un valor para todas las edades, a diferencia de Chen y Watanabe (1986) que sugieren que existe un cambio en la misma con el transcurso del tiempo, por lo que se colocan los valores de la edad cero (**0.3359**) y la edad máxima encontrada (**-0.4742**).

Mortalidad Total (Z)

La mortalidad total (Z) fue calculada a partir de la ecuación 4, donde $K=$ **0.1237** y $L^{\infty}=$ **724.1** mm (Medellín-Ortiz, 2004); $Lm=$ **576.92** mm y $L'=$ **534.22** mm. Obteniéndose como resultado **0.55**.

Mortalidad por Pesca (F), Pesca real (F_c) y Pesca corregida con veda (F_v)

La mortalidad estimada con el valor más alto fue la mortalidad por pesca real (F_c), con un valor de **0.5561** y la que presentó un valor más bajo fue la mortalidad con pesca corregida con veda (F_v) obteniendo un valor de **0.2962** (Tabla II).

Tabla II.- Mortalidades por Pesca (F), Pesca real (F_c) y Pesca corregida con veda (F_v)

F	F_c	F_v
0.3516	0.5561	0.2962

Fecundidad (mx)

Las hembras sexualmente maduras presentaron un promedio de 6 oovocitos pre-ovulatorios (≥ 15 mm) por hembra. Teniendo una relación lineal (figura 3) entre el número de oovocitos pre-ovulatorios y la longitud total ($y=0.0383LT-19.446$, $R^2 = 0.3597$, $n=16$). Cabe señalar que el número de muestra es muy pequeño, por lo que es probable la existencia de una incertidumbre.

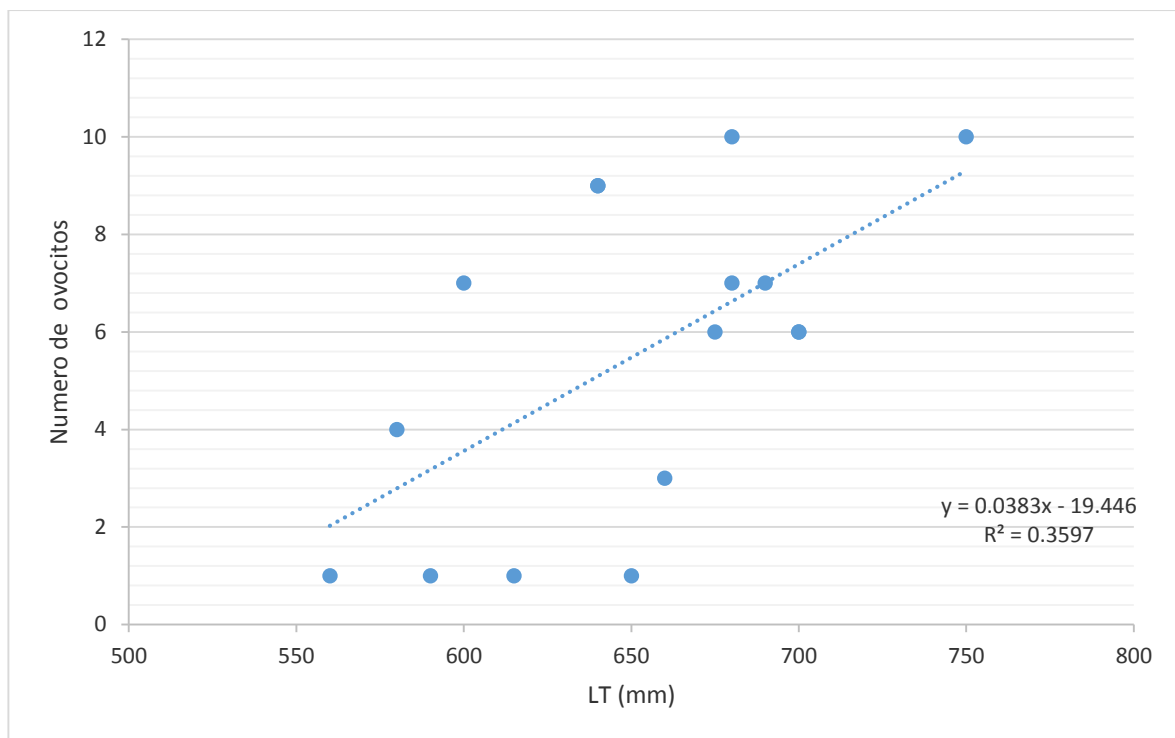


Figura 3.-Número de oocitos pre-ovulatorios contra la longitud total de la hembra.

Escenario 1

Los valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) y la tasa finita de crecimiento poblacional (λ) representaron un crecimiento en la población ($r > 0$ y $\lambda > 1$) teniendo valores de **0.0949** y **1.0995** respectivamente (Tabla III).

Por otro lado la tasa neta reproductiva (R_0) presenta un valor de **3.3156** hembras, un tiempo generacional (G) de **13.7773** y un tiempo de duplicación (t_2) de **7.3021** años (Tabla III).

Todo esto sólo contemplando la mortalidad natural.

Tabla III.- Valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 1.

r	λ	R_0	G	t_2
0.09492322	1.09957443	3.31560906	13.7773779	7.30218764

Escenario 2

En el escenario dos, al contemplar la mortalidad total ($Z=M+F$) y no sólo la mortalidad natural, los valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) y la tasa finita de crecimiento poblacional (λ) continuaron con una tendencia de crecimiento ($r=0.0095$ y $\lambda=1.0096$). Sin embargo, presentaron valores ligeramente menores a los calculado para el escenario uno (Tabla IV).

La tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) presentaron cambios más amplios al tener valores de **1.0912**, **9.1446** y **72.3831** respectivamente (Tabla IV).

Cabe señalar que en este escenario el tiempo de duplicación (t_2) presentó un incremento considerable al del escenario uno, al tener un aumento de **7.3021** años a **72.3831** años.

Tabla IV.- Valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2)

calculados para el escenario 2

r	λ	R_0	G	t_2
0.00957608	1.00962208	1.09126901	9.14467621	72.383164

Escenario 3

Al incluir la mortalidad por pesca no reportada, se observó cómo los valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) y la tasa finita de crecimiento poblacional (λ) disminuyen, presentando una tendencia de decrecimiento ($r < 0$ y $\lambda < 1$).

Por otro lado los valores de tasa neta reproductiva (R_0) y el tiempo generacional (G) presentan valores menores al escenario 2 (Tabla IV), lo que puede ser explicado con el decrecimiento de la población que nos muestran los valores de r y λ .

El tiempo de duplicación (t_2) presenta un valor negativo (Tabla V), esto debido a que la tasa intrínseca de crecimiento poblacional es menor a cero.

Tabla V.- Valores de la tasa intrínseca crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 3.

r	λ	R_0	G	t_2
-0.01295379	0.98712975	0.89488737	8.55462905	-53.5092228

Escenario 4

Al contemplar el valor de pesca corregida por veda propuesto Cisneros-Montemayor y colaboradores en 2013, se observa un ligero aumento en la tasa intrínseca de crecimiento poblacional y la tasa de finita de crecimiento poblacional (Tabla VI), los cuales a diferencia de escenario 3 (Tabla V) muestran un crecimiento en la población ($r > 0$ y $\lambda > 1$) con valores de **0.0225** y **1.0228** respectivamente.

La tasa neta reproductiva (R_0) y el tiempo generacional (G) de igual manera presentan valores más altos que el escenario 3, **1.2391** y **9.5701** respectivamente y el tiempo de duplicación (t_2) al tener una tasa intrínseca de crecimiento poblacional positiva presenta un valor de **30.6920** años.

Tabla VI.- Valores de la tasa intrínseca crecimiento poblacional (r), la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la tasa neta reproductiva (R_0), el tiempo generacional (G) y el tiempo de duplicación (t_2) calculados para el escenario 4

r	λ	R_0	G	t_2
0.02258392	1.02284087	1.23916055	9.57011997	30.6920615

Elasticidad

Con base en el análisis de elasticidad (figura 4), se observó que la supervivencia en los estadios juveniles es más importante que la supervivencia en los estadios adultos, así como la tasa vital de fecundidad, siendo mayo a los 7 años y disminuyendo hacia los estadios adultos.

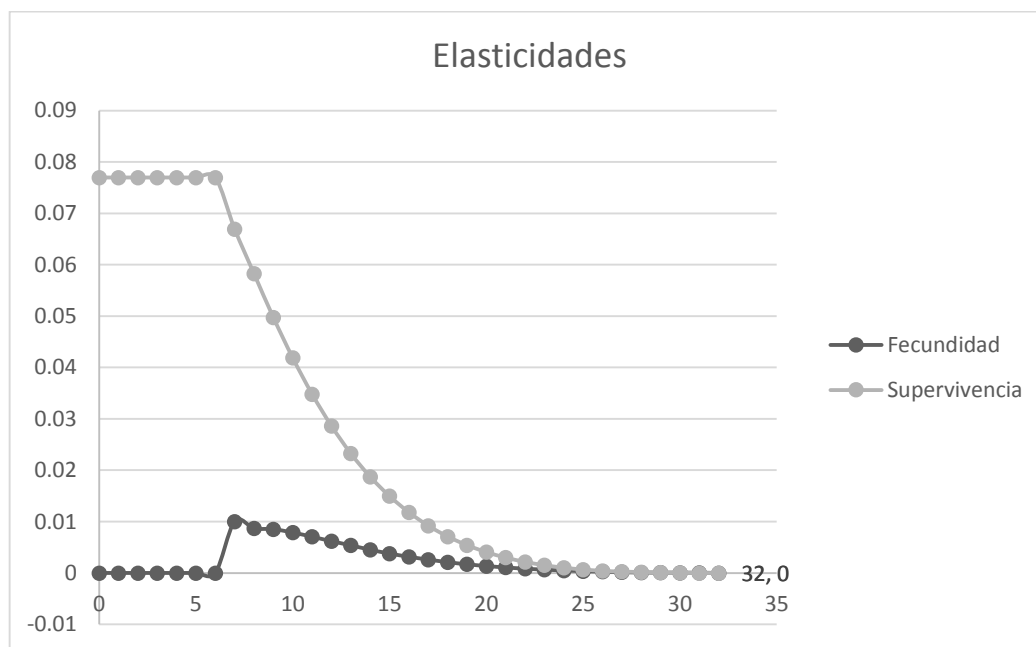


Figura 4.- Elasticidad de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad para *Heterodontus mexicanus* contemplando sólo la mortalidad natural.

Discusión

Los estudios realizados para *Heterodontus mexicanus* han sido limitados (ej. edad y crecimiento, biología reproductiva (Medellín-Ortiz, 2004)), por lo que éste es el primer estudio de análisis demográfico para la especie.

Fecundidad

En este trabajo se consideraron como oocitos pre-ovulatorios a aquellos con tamaño mayor a 15 mm, a diferencia de lo descrito por Tovar-Ávila y colaboradores (2007). Él utilizó como oocitos pre-ovulatorios a los que tuvieran un tamaño mayor o igual a 35 mm, esto debido a que la especie de dicho estudio, (*Heterodontus portusjacksoni*) alcanza una talla máxima (165 cm) mayor a la de *H. mexicanus* (70 cm) (Compagno, 1995).

Escenario 1

H. mexicanus presentó una tasa finita de crecimiento poblacional (λ) baja (1.099 años^{-1}) en condiciones de no explotación. Esto coincide con Fajardo-Yamamoto en 2014, en el cual describe que *M. henlei* y *M. californicus* presentan valores de λ mayores a uno, lo que implica un crecimiento poblacional de las especies. Esto tomando en cuenta que las tres especies son consideradas como cazonas.

Escenario 2

Al contemplar la mortalidad total se sigue observando una λ baja (1.009 años⁻¹). Sin embargo, ésta sigue representando un crecimiento poblacional, tal como lo describe Tovar y colaboradores en 2010, donde menciona que hay una disminución en la tasa finita de crecimiento poblacional al incluir mortalidad por pesca, a pesar de dicha disminución, esta sigue presentando valores mayores a uno.

Escenarios 3 y 4

Considerando el valor de la pesca no reportada descrito por Cisneros-Montemayor y colaboradores en 2013, se observa que el valor de λ es menor a uno (0.98 años⁻¹), lo que implica una disminución en la población. Con lo que se puede observar, como la falta de regulaciones para estas pesquerías está afectando a dicha población. Sin embargo al incluir el valor de la pesca corregida por veda, existe un crecimiento poblacional, al alcanzar un valor de λ mayor a uno (1.022 años⁻¹). Aunque es necesario prestar más atención en la especie para llegar a tener un mejor manejo de la misma.

Elasticidad

Al realizar el estudio de elasticidad se observó que los juveniles son los más importantes en el crecimiento de la población. Estos resultados concuerdan con estudios previos, tales como, Tovar y colaboradores en 2010, en el cual al

realizar un análisis de elasticidad para *H. portusjacksoni*, encontrando resultados similares. Por otro lado Cortés (2002) realizó un estudio de elasticidad para 38 especies de tiburón, en el cual también concluye que la supervivencia en los estadios juveniles afecta más al crecimiento de la población. Así mismo, Fajardo-Yamamoto (2014) concluye que hay una elasticidad mayor en estadios juveniles para *Mustelus henlei* y *Mustelus californicus*.

Las tablas de vida asumen que una población es estable (Simpfendorfer, 2005), por lo que al realizar éste estudio con datos pesqueros, se podría ocasionar un sesgo en los resultados, ya que se podrían subestimar las tasas de crecimiento de la población.

Conclusiones

Al sólo presentar valores de $r < 0$ y $\lambda < 1$ en el escenario tres, se puede concluir que esta especie es sensible a los efectos producidos por la pesca. Por otro lado, al contemplar un periodo de veda, se observa un aumento en los valores de r y λ , lo que indica que ésta, tiene un efecto positivo en el crecimiento poblacional de *H. mexicanus*.

El análisis de elasticidad mostró valores mayores en los estadios juveniles teniendo aproximadamente un 54%, por lo que se puede concluir, que estos estadios tienen una mayor importancia en el crecimiento poblacional que los estadios adultos.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar este estudio como línea base para un plan de manejo, ya que al enfocar esfuerzos en protección de estadios juveniles, la población se podría mantener estable. Por otro lado es necesario incrementar el número de muestra para que la incertidumbre sea menor.

Bibliografía

Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, en B.H. Ketchum (ed.), Estuaries and enclosed seas. Elsevier, Amsterdam, pp. 427-449.

Anislado-Tolentino, V. 2000. Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834 en el litoral del estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 145pp.

Bizzarro, J.J. Smith, W.D. Hueter, R.E. Tyminski, J. Márquez-Farias, J. F. Castillo-Géniz, J. L. Cailliet, G. M. y Villavicencio Garayzar, C. J., 2007. El estado actual de los tiburones y rayas sujetos a explotación comercial en el golfo de california: una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación. , p.261.

Booth, A. J., Foulis, A. J. & Smale, M. J. 2011. Age validation, growth, mortality, and demographic modeling of spotted gully shark (*Triakis megalopterus*) from the southeast coast of South Africa. Fishery Bulletin, 109(1), 101-112 pp.

Caswell H. 2001. Matrix population models: construction, analysis, and interpretation. Second Edition. Sinauer Ass. Sunderland, Massachusetts. 722 p.

Chen, S., and Watanabe, S. 1989. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. Nippon Suisan Gakkai Shi, 55. 205–208.

Chapple, T. K. & Botsford, L. W. 2013. A Comparison of linear demographic models and fraction of lifetime egg production for assessing sustainability in sharks. *Conservation Biology*, 27, 560-568.

Cisneros-Montemayor, A. M., Cisneros-Mata, M. A., Harper, S., & Pauly, D., 2013. Extent and implications of IUU catch in Mexico's marine fisheries. *Marine Policy*, 39, 283–288.

Compagno, L.J.V., 1995. FAO. Guía para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca: Pacífico Centro – Oriental. Volumen II. P. 692 – 695.

CONAPESCA, 2013. Anuario estadístico de pesca. Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura 2014. SAGARPA. México, 286 pp.

Cortés, E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fisheries Research*, 39, 199–208.

Cortés, E. 2002. Incorporating Uncertainty into Demographic Modeling: Application to Shark Populations and Their Conservation. *Conservation Biology*, 16(4), 1048–1062.

Cortés, E. 2007. Chondrichthyan demographic modelling: an essay on its use, abuse and future. *Marine and Freshwater Research* 58, 4–6.

DOF. 2012. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Acuerdo por el que se modifica el Aviso por el que se da a conocer

el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994 para establecer los periodos de veda de pulpo en el Sistema Arrecifal Veracruzano, jaiba en Sonora y Sinaloa, tiburones y rayas en el Océano Pacífico y tiburones en el Golfo de México. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación, 11 de junio de 2012, segunda sección.

DOF. 2013. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Acuerdo por el que se modifica el Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos, publicado el 16 de marzo de 1994 con el objetivo de concluir el periodo de veda de tiburones y rayas en el litoral del Océano Pacífico durante el 2013. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación, 23 de julio de 2013, primera sección.

Fajardo-Yamamoto, A., 2014. Análisis demográfico de cuatro especies de elasmobranquios del Pacífico Noroeste mexicano. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. 68 pp.

Fishbase.2012.<http://www.fishbase.org/summary/speciessummary.php?id=739> (Revisada 15/mayo/2015).

GFCM. 2010. Review on elasmobranches stock assessment methods. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Document available at: <http://151.1.154.86/gfcmwebsite/SAC/2010/Elasmobranches/paper/StockAssessment.pdf>

Gotelli, N. J. 2008. A Primer or Ecology. (4th ed.) Sunderland, MS, Sinauer Associates, Inc. Publishers.

Hoenig, J. M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. Fishery Bulletin, 81, 898–903.

Jensen, A. L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53, 820–822

Lara-Lara, J.R., Arenas-Fuentes, V., Bazán Guzmán, C., Díaz-Castañeda, V., Escobar-Briones, E., García-Abad, M. de la C., Gaxiola-Castro, G., Robles-Jarero, G., Sosa-Ávalos, R., Soto-González, L.A., Tapia-García, M., Valdez-Holguín, J. E. 2008. Los ecosistemas marinos, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 135-159.

Leslie, P. H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. Biometrika, 33(3), 183-212 pp.

Márquez-Farias, J. F., Castillo-Géniz, J.L, Rodríguez de la Cruz, M.C. 1998. Demografía del cazón pech, *Sphyrna tiburo* (linnaeus, 1758), en el sureste del Golfo de México. Ciencias Marinas. 24(1). 13-34pp.

Medellín-Ortiz, A., 2004. Determinación de edad del tiburón dormilón búfalo (*Heterodontus mexicanus*), en la parte norte del Golfo de California por medio de vértebras y espinas dorsales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. 49 pp,

Mejia-Falla, P. A. 2012. Historia de vida y demografía de la raya espinosa *Urotrygon rogersi* en dos áreas con distintos niveles de presión pesquera. Tesis de Doctorado. Universidad del Valle. 151pp.

Montshiwa, M. I. 2007 Leslie matrix model in population dynamics. African Institute for Mathematical Science (AIMS).

Ricker, W. E. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. (Bulletin 191) Ottawa, Can. (pp. 1–382).

Roden, G. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California, en T.H. van Andel y G.G. Shor Jr. (eds.), Marine Geology of the Gulf of California: A symposium. (Memoir No. 3). American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, pp. 30-58.

Santana-Morales, O, Castillo-Géniz, J.L., Sosa-Nishizaki, O., Rodríguez-Medráno, C. 2004. Catálogo de tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes) que habitan en las aguas del norte del Golfo de California. Reporte Técnico. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. 119 pp.

Simpfendorfer, C. A. 2005. Demographic models: life tables, matrix models and rebound potential. In Management techniques for elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 141 (pp. 143–153).

Smith, W.D., Cailliet, G.M. & Cortés, E., 2008. Demography and elasticity of the diamond stingray, *Dasyatis dipterura*: Parameter uncertainty and resilience to fishing pressure. Marine and Freshwater Research, 59, pp. 575–586.

Tovar-Ávila, J., Day, R.W. & Walker, T.I., 2010. Using rapid assessment and demographic methods to evaluate the effects of fishing on *Heterodontus portusjacksoni* off far-eastern Victoria, Australia. Journal of Fish Biology, 77, pp. 1564–1578.

Tovar-Ávila, J., Walker, T.I. & Day, R.W., 2007. Reproduction of *Heterodontus portusjacksoni* in Victoria, Australia: Evidence of two populations and reproductive parameters for the eastern population. Marine and Freshwater Research, 58 (Knox 1963), pp. 956–965.

Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 200 pp.