

Tesis defendida por

**Marlon Humberto Román Verdesoto**

y aprobada por el siguiente Comité

---

Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Director del Comité

---

Dr. Michel Jules Dreyfus León

Miembro del Comité

---

Dr. David Alberto Rivas Camargo

Miembro del Comité

---

Dr. Benjamín Barón Sevilla

Miembro del Comité

---

Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes

Coordinador del Programa de Posgrado  
en Ecología Marina

---

Dr. Jesús Favela Vara

Director de Estudios de Posgrado

Febrero de 2014

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA**



---

**Programa de Posgrado en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Efectos potenciales de vedas espaciales en la demografía del tiburón sedoso  
(*Carcharhinus falciformis*) en el Océano Pacífico oriental**

**Tesis**

**para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de**

**Maestro en Ciencias**

**Presenta:**

**Marlon Humberto Román Verdesoto**

**Ensenada, Baja California, México, 2014**

## Resumen

Resumen de la tesis de **Marlon Humberto Román Verdesoto**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

### **Efectos potenciales de vedas espaciales en el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) en el Océano Pacífico oriental**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Director de Tesis

El tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) es la especie de tiburón mayormente capturada por la pesquería de atunes con red de cerco en el Océano Pacífico oriental (OPO), especialmente en la pesquería sobre objetos flotantes. Se propone una metodología para el establecimiento de vedas espaciales sustentada en la demografía que refleje un efecto positivo en su crecimiento poblacional de acuerdo a las regiones oceánicas que influyen su dinámica poblacional. Se modeló la demografía del tiburón sedoso en las condiciones existentes de pesca, y para varios escenarios de veda considerando la redistribución del esfuerzo pesquero tanto para la pesquería de atunes con red de cerco sobre objetos flotantes como para las otras pesquerías en el OPO. La incertidumbre en las estimaciones de las características demográficas fue explorada mediante simulaciones de Monte Carlo para identificar con mayor precisión la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ), así como los factores biológicos que pudieran explicar la variación de  $\lambda$ . Los análisis de elasticidad mostraron que el valor de  $\lambda$  depende fundamentalmente de la supervivencia de los juveniles. El valor de  $\lambda$  de 0.9487 indica que bajo las condiciones existentes la población se encuentra por debajo de sus niveles de estabilidad ( $\lambda = 1$ ). El valor más alto de  $\lambda$  fue 0.9644, calculado con una veda al norte del ecuador y aplicada a todas las pesquerías, sin embargo su implementación deberá ser profundamente analizada puesto que ocasionaría un incremento en las capturas del atún patudo, actualmente por encima de sus niveles de rendimiento máximo sostenible.

Palabras clave: ***Carcharhinus falciformis*, Océano Pacífico oriental, demografía, pesquería de atunes con red de cerco, redistribución del esfuerzo pesquero.**

## Abstract

Abstract of the thesis presented by **Marlon Humberto Román Verdesoto** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

### **Potential effects of spatial closures on the demography of silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the eastern Pacific Ocean**

Abstract approved by:

---

Dr. Oscar Sosa Nishizaki  
Thesis Director

The silky shark (*Carcharhinus falciformis*) is the more common shark species caught as bycatch by the tuna purse seine fishery in the eastern Pacific Ocean (EPO), especially in the fishery on floating objects. A methodology for the establishment of spatial closures supported by demography to reflect a positive effect on the population increase for this species according to some oceanic regions affecting its population dynamics is proposed. The demography of the silky shark population was modelled for both the existing fishery conditions and by several closure scenarios taking into account the fishing effort relocation of both the tuna purse seine fishery on floating object sets and the other fisheries in the EPO. The uncertainty of the estimates of certain demographic traits was explored by Monte Carlo simulations with the intention of identifying more precisely the finite increase population growth rate ( $\lambda$ ), as well as the biological factors that could explain the variation of  $\lambda$ . Elasticity analyses showed that  $\lambda$  strongly depends on the survival of juveniles. The  $\lambda$  value of 0.9487 under the existing conditions indicates that the population is below its stability levels ( $\lambda = 1$ ). The highest value of  $\lambda$  was 0.9644 computed in a closure applied to all the fisheries and located north of the equator; however serious considerations must be taken into account before its implementation as this closure would cause and increase in the bigeye tuna catches, currently above its maximum sustainable yield levels.

Keywords: ***Carcharhinus falciformis*, eastern Pacific Ocean, demography, tuna purse seine fishery, fishing effort relocation.**

*Dedicado a mi familia*

## **Agradecimientos**

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki, por acceder a incorporarme en su grupo de trabajo, y por haber dispensado su tiempo y por todo el apoyo que recibí de él durante el desarrollo de mi tesis.

Al Dr. Martin Hall, por el impulso y la apertura que me ha ofrecido por más de una década en el campo de la investigación.

Al Dr. Guillermo Compeán, por haberme permitido extender mi nivel académico y profesional. Gracias Doctor por su respaldo y confianza.

Al Dr. Robert Olson. Querido Bob: un millón de gracias por tu amistad, por tus consejos, y por hacernos sentir como en familia en un lugar tan alejado de ella.

A la Dra. Cleridy Lennert-Cody, una persona a la que guardo mucha consideración y cariño por su tenacidad y enorme calidad humana. Cleridita: Gracias por tu inmensa paciencia para explicarme el programa de R, aunque reconozco que en algunas ocasiones estuvo a punto de agotarse.

Al Dr. Alexandre Aires-da-Silva por su valiosa ayuda y por su tiempo en enseñarme todo lo relacionado con el modelo de Stock Synthesis (SS), así como asuntos claves de los modelos demográficos.

Al Dr. Mark Maunder, por su orientación, por su tiempo y su visión para aconsejar el camino a seguir en mi investigación.

Al Dr. Michel Dreyfus, por haber aceptado formar parte de mi comité de tesis y por haber aportado con puntos importantes que definieron el curso de investigación de mi tesis.

Al Dr. David Rivas Camargo, miembro del comité de tesis. Sus comentarios de los avances de mi tesis motivaron e impulsaron positivamente mi trabajo.

Al Dr. Benjamín Barón Sevilla, por formar parte de mi comité de tesis y por sus valiosos comentarios y opiniones vertidas en cada reunión de los avances de mi tesis.

A mis hijos. Gracias por todo ese cariño que se tradujo en apoyo fundamental. Los cálidos recibimientos al llegar de clases nunca los olvidaré.

A mi Pauli, por tu compañía, perseverancia, paciencia y comprensión durante el tiempo que tomó mi maestría. Gracias por darme fortaleza cuando más la necesitaba.

A Oscar, Adriana, Gerardo, Carolina, Mariana, Melissa, Rosy, Manuel, Laura. Gracias mis amigos por su amistad y compañerismo.

A los observadores pesqueros, mi profundo agradecimiento. El producto de su denodado esfuerzo desarrollado a bordo es la contribución más significativa a la comunidad científica pesquera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), mi especial agradecimiento por su apoyo a la ciencia y al soporte económico que recibí a través de la beca durante mi maestría.

Finalmente, a la Comisión Interamericana del Atún Tropical, mi profundo agradecimiento por forjarme profesionalmente y por facilitarme toda la información requerida en mi estudio.

## Contenido

---

Resumen .....	iii
Abstract .....	iv
Agradecimientos.....	vi
Lista de Figuras .....	x
Lista de Tablas .....	xiii
1. Introducción .....	1
1.1. La pesquería de atunes con red de cerco .....	2
1.2. El tiburón sedoso.....	4
1.3. Redistribución del esfuerzo pesquero .....	5
1.4. Análisis demográficos.....	6
1.4.1. Supervivencia .....	7
1.4.2. Fecundidad .....	12
1.4.3. Tasa intrínseca de crecimiento poblacional .....	12
1.4.4. Tasa finita de crecimiento poblacional .....	13
1.4.5. Análisis de elasticidad.....	13
1.4.6. Incertidumbre en los parámetros de historias de vida.....	13
2. Objetivos.....	15
2.1. Objetivos generales.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. Hipótesis .....	16
4. Metodología .....	17
4.1. Estructuración de los escenarios de veda .....	18
4.1.1. Determinación de las áreas candidatas de veda .....	18
4.1.2. Redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF .....	20
4.2. Análisis demográficos.....	21
4.2.1. Supervivencia .....	22
4.2.2. Fecundidad .....	28
4.2.3. Estimación de la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ).....	29
5. Resultados .....	33
5.1. Estructuración de los escenarios de veda .....	33

5.1.1. Determinación de las áreas candidatas de veda .....	33
5.1.2. Redistribución del esfuerzo pesquero.....	36
5.2. Análisis demográficos.....	45
5.2.1. Supervivencia .....	45
5.2.2. Tasa finita de crecimiento .....	51
5.2.3. Elasticidad .....	53
6. Discusión .....	55
6.1. Redistribución del esfuerzo .....	56
6.2. Efectos de las zonas de veda en la demografía.....	57
6.3. Efectos en la pesca de atún .....	61
Conclusiones .....	63
Referencias bibliográficas .....	64

## Lista de Figuras

---

Figura 1. Límites para la PARC definidos en e Océano Pacífico oriental (OPO) de acuerdo al Área de Convención de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). Disponible en: <a href="http://www.iattc.org/EPOmap.htm">http://www.iattc.org/EPOmap.htm</a> .....	2
Figura 2. Distribución espacial de la pesquería atunera con red de cerco en el OPO.....	3
Figura 3. Porcentaje del número de tiburones sedosos ( <i>Carcharhinus falciformis</i> ) capturados en la PARC en el OPO, por tipo de lance, durante 2005 – 2012.....	4
Figura 4. Distribución espacial del tiburón sedoso por categoría de tallas en lances sobre objetos flotantes durante 1994 a 2012. Modificado de Román-Verdesoto y Orozco-Zöller, 2005; p. 30. ....	6
Figura 5. Representación esquemática de las tasas de supervivencia ( $l_x$ ) y fecundidad ( $m_x$ ) de una especie con una edad máxima de 4 años y una edad de madurez a los 2 años. Modificado de Gotelli, 1998; p 73. ....	7
Figura 6. Composición de las tallas del tiburón sedoso por tipo de arte de pesca, palangre de superficie (PS), red de enmalle de superficie (RES) y red de cerco (RC), periodo 2003 – 2010. Tomado de Martínez et al., 2011; p 10.....	8
Figura 7. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembras. Datos tomados de Sánchez de Ita, 2004; p. 23. ....	9
Figura 8. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembras. Datos tomados de Galván-Tirado, 2007; p. 19. ....	9
Figura 9. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra capturados por la PARC-OF. Periodo 2005-2012. ....	10
Figura 10. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra. Datos tomados de García-Cortés et al., 2011; p. 1614. Tallas convertidas de longitud furcal (LF) a LT.....	10
Figura 11. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra. Datos tomados de Oshitani et al., 2003; p.459. Tallas convertidas de LPC a LT. ....	10
Figura 12. Distribución de la densidad de probabilidad triangular de las tasas de mortalidad natural para las edades del tiburón sedoso. ....	24
Figura 13. Probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance a objeto flotante y área de veda seleccionada. Periodo 2005 – 2012.....	34
Figura 14. Probabilidad de capturar 3 o más tiburones sedosos hembras maduras en un lance y área de veda seleccionada. Periodo 2005 – 2012.....	35

Figura 15. Probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance a objeto flotante y selección de veda norteña A (izquierda), B (centro) y C (derecha). .....	35
Figura 16. Número de lances y captura de tiburones sedosos en la PARC-OF de acuerdo a las condiciones existentes, durante el periodo 2005 - 2012.....	36
Figura 17. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña. ....	37
Figura 18. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda sureña.....	38
Figura 19. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña A. ....	38
Figura 20. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña B. ....	39
Figura 21. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña C. ....	39
Figura 22. Número de lances y captura total de atún (AA, BA y OG) de acuerdo a las condiciones existentes, durante el periodo 2005 - 2012 .....	41
Figura 23. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña. ....	41
Figura 24. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda sureña.....	42
Figura 25. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña A. ....	42
Figura 26. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña B. ....	43
Figura 27. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña C. ....	43
Figura 28. Variación porcentual de la captura de atún aleta amarilla, barrilete y patudo de cada uno de los escenarios de veda con respecto a las condiciones existentes.....	44

Figura 29. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en las condiciones existentes. ....	46
Figura 30. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña. ....	47
Figura 31. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda sureña.....	47
Figura 32. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña A. ....	47
Figura 33. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña B. ....	48
Figura 34. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña C.....	48
Figura 35. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña.....	49
Figura 36. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda sureña. ....	49
Figura 37. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña A. ....	50
Figura 38. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña B. ....	50
Figura 39. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña C. ....	51
Figura 40. Distribución de los valores de $\lambda$ para el tiburón sedoso en el OPO, de acuerdo a las condiciones existentes, por escenario de veda, calculadas con el método 1 de redistribución del esfuerzo pesquero.....	52
Figura 41. Distribución de los valores de $\lambda$ para el tiburón sedoso en el OPO, de acuerdo a las condiciones existentes, por escenario de veda, y calculadas con el método 2 de redistribución del esfuerzo pesquero.....	52
Figura 42. Proporción de las elasticidades promedio de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad de las clases de edades del tiburón sedoso. ....	54

## Lista de Tablas

---

Tabla 1. Estimación por edad del número de tiburones sedosos en el periodo 2005 - 2010 mediante el modelo SS.....	11
Tabla 2. Métodos indirectos para el cálculo de la mortalidad natural para el tiburón sedoso. ....	23
Tabla 3. Promedios de la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos, y 3 o más hembras maduras por lance en la PARC-OF. Los asteriscos indican solamente los lances con registro de sexo y longitud de tiburones sedosos.....	36
Tabla 4. Captura total y variación porcentual de la captura resultante del tiburón sedoso en cada uno de los escenarios de veda con respecto a las condiciones existentes.....	40
Tabla 5. Estimaciones de la mortalidad natural de acuerdo a los siguientes métodos indirectos: Frisk et al., 2005; p. 29; y según ecuaciones de Jensen (1996), Peterson y Wroblewski (1984) y Hoenig (1983).....	46
Tabla 6. Datos estadísticos de $\lambda$ para el tiburón sedoso calculados con la captura de todas las pesquerías de acuerdo a las aproximaciones del método de redistribución 1 y 2.....	53
Tabla 7. Promedio de las proporciones de elasticidad del tiburón sedoso, obtenidas aleatoriamente mediante simulaciones de Monte Carlo, de acuerdo a dos valores de edad de madurez: 6 y 7 años. ....	54

## 1. Introducción

---

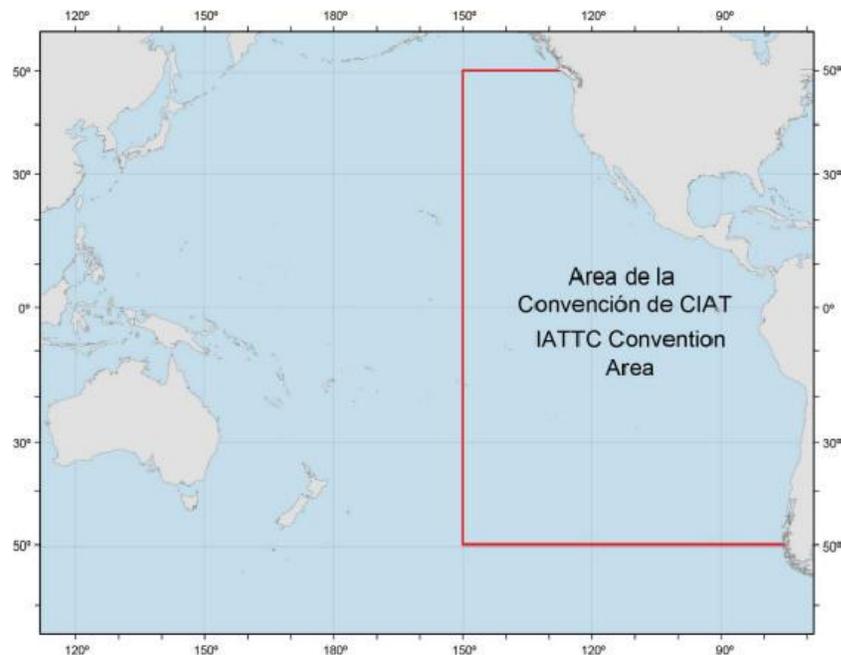
La problemática de las capturas incidentales en las pesquerías selectivas ha tomado especial interés, siendo materia de discusión por los grupos dedicados en la conservación de las especies marinas, así como desde la perspectiva del manejo pesquero (Hall y Román, 2013). Desde el punto de vista de la conservación, existe la preocupación de que las capturas incidentales puedan afectar la biodiversidad, tanto a la cima de la cadena trófica, al sobreexplotar los depredadores tope, como en la base de la cadena trófica, eliminando a las presas (Hall et al., 2000).

Para mitigar estos efectos, organizaciones regionales de manejo pesquero (RFMO, por sus siglas en inglés) y organizaciones no gubernamentales (ONG) han promulgado y propuesto, respectivamente, acciones orientadas a la conservación de diferentes especies. Dentro de éstas se encuentran el Acuerdo Internacional para el Programa de Conservación de Delfines (AIPCD) de 1992, cuyo objetivo principal fue el reducir progresivamente la mortalidad de delfines a cero (Joseph, 1994); la resolución consolidada de captura incidental C-04-05 ([www.iattc.org](http://www.iattc.org)) emitida por la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), instando a los gobiernos, personal científico y pescadores a “ejecutar acciones destinadas a la reducción de la mortalidad incidental de atunes juveniles, a la utilización de técnicas y aparejos para liberar lo antes posible e ilesos en la medida de lo posible, los picudos, rayas, dorados y otras especies no objetivo”. Otro ejemplo es una serie de resoluciones para reducir la captura incidental de tortugas, aves marinas y tiburones (revisadas por Gilman et al., 2007 y Clarke, 2011).

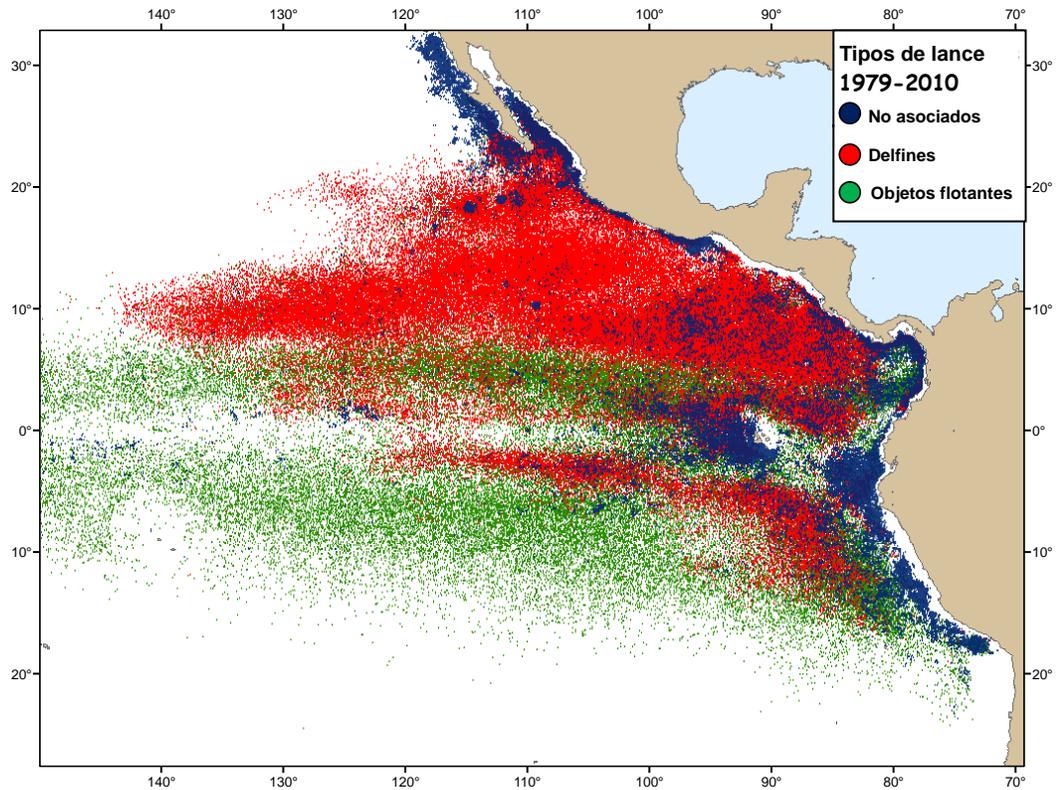
En este trabajo se sugiere cómo se podría contribuir a la mitigación de los efectos de la captura del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*). Se propone una metodología para el establecimiento de vedas espaciales sustentada en la demografía, que reflejen un efecto positivo en el crecimiento poblacional de esta especie, tomando en consideración las regiones oceánicas que influyen su dinámica poblacional.

### 1.1. La pesquería de atunes con red de cerco

Una de las pesquerías más importantes en el Océano Pacífico oriental (OPO) es la de atunes con red de cerco (PARC). Los objetivos principales de esta pesquería son el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), el atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) y el atún patudo (*Thunnus obesus*). Esta pesquería ocupa una porción del Océano Pacífico limitada entre las latitudes 50°N y 50°S, y desde la costa occidental del continente americano hasta la longitud 150°W, la cual está regulada por la Comisión Interamericana del Atún Tropical (Figura 1). El poder de captura de esta flota ha tenido un marcado incremento desde el año 1960, con la adopción de técnicas y equipos para incrementar su eficiencia en captura de túnidos (Pella y Psaropulos, 1975). Este incremento en las capturas también derivó en una mayor cobertura espacial de esta pesquería, ocupando actualmente una vasta porción del OPO (IATTC, 2011; Figura 2).



**Figura 1. Límites para la PARC definidos en e Océano Pacífico oriental (OPO) de acuerdo al Área de Convención de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). Disponible en: <http://www.iattc.org/EPOmap.htm>**



**Figura 2. Distribución espacial de la pesquería atunera con red de cerco en el OPO.**

Dependiendo del comportamiento de asociación de los atunes, en esta pesquería se realizan tres modalidades de lances: lances efectuados sobre atunes asociados a mamíferos marinos, principalmente delfines, llamados “lances sobre delfines”; lances efectuados sobre cardúmenes de atunes libres, llamados “lances no asociados”, y lances sobre atunes asociados a objetos flotantes, llamados “lances sobre objetos flotantes” (Hall, 1998). El número de lances sobre objetos flotantes (OF) se ha incrementado desde finales de la década de los ochenta. La captura incidental en este tipo de lance tiene la mayor diversidad de especies comparada con los otros tipos de lances realizados por esta pesquería (IATTC, 2010; Figura 2).

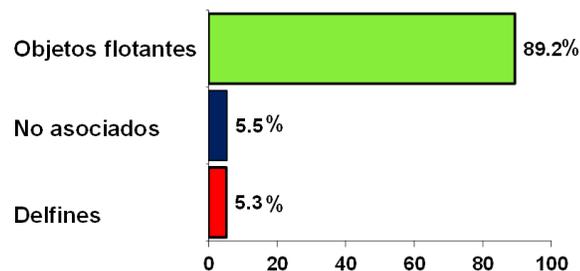
Varias especies de tiburones son capturadas incidentalmente en la PARC (Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner 2005). Las características de sus historias de vida y su alta posición en la cadena trófica las hacen más vulnerables a una intensa actividad pesquera (Stevens et al., 2000), ya que muestran un lento crecimiento, con una edad tardía de madurez con un promedio de 11 años dentro de un intervalo de 2 a 21 años; con una longevidad estimada de 8 a 65 años. Tienen largos periodos de

gestación que fluctúan de 9 a 18 meses (Dulvy et al., 2008). Por último, tienen baja fecundidad y una baja mortalidad natural, y una cercana relación entre el número de juveniles producidos y el tamaño de la camada (Stevens et al., 2000). Estas características en general han dificultado la conservación y manejo de estas especies.

Para los tiburones pelágicos, su conservación y manejo son complejos debido en parte a que los ecosistemas oceánicos están lejos de los continentes, lo que dificulta el monitoreo de las capturas. Además, estas especies habitan en áreas fuera de las Zonas Económicas Exclusivas (EEZ), más allá de la competencia y preocupaciones inmediatas de las jurisdicciones nacionales (Dulvy et al., 2008).

## 1.2. El tiburón sedoso

El tiburón sedoso, *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839), es una especie tropical que habita en todos los océanos, tanto en ambientes costeros como pelágicos (Compagno, 1984). Es la especie dominante en la captura incidental de la PARC en el OPO (Oshitani et al., 2003; Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner, 2005). Se captura con los tres tipos de lances, sin embargo la gran mayoría son capturados en lances sobre objetos flotantes (89.2%; Figura 3).



**Figura 3. Porcentaje del número de tiburones sedosos (*Carcharhinus falciformis*) capturados en la PARC en el OPO, por tipo de lance, durante 2005 – 2012.**

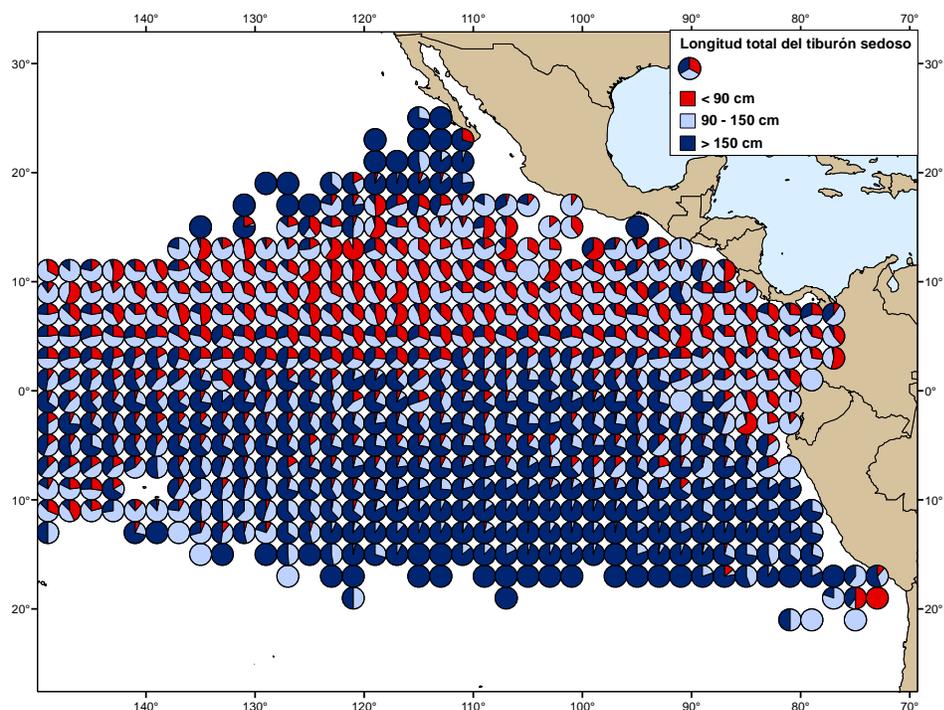
Los análisis de las capturas incidentales del tiburón sedoso han estimado una disminución del 50% en la captura por lance entre 1993 y 2004 (Minami et al., 2007). Antes de esta disminución, se habían implementado varias medidas para mitigar los efectos de la captura incidental del tiburón sedoso y otros elasmobranquios asociados a la PARC. La Resolución C-04-05, emitida por la

CIAT en el 2006 ([www.iattc.org](http://www.iattc.org)), exhortó al sector académico a realizar los estudios necesarios para definir áreas y periodos en donde exista una mayor probabilidad de capturar estas especies y, de acuerdo a esta información, diseñar vedas espacio-temporales para reducir la captura incidental. Con base en esta resolución se han realizado esfuerzos para identificar vedas pesqueras adecuadas para la conservación del tiburón sedoso y que al mismo tiempo minimicen el impacto económico en la captura de atún. Watson et al. (2009) identificaron y evaluaron cerca de 100 áreas de veda entre las latitudes de 5°N a 15°N, y entre las longitudes de 90°W a 140°W, y sugieren que su aplicación puede llegar a reducir hasta en un 33% la captura incidental del tiburón sedoso, comprometiendo solamente el 12% de la captura de atún. También proyectaron sus resultados como una herramienta viable para la implementación de vedas espaciales, considerando el balance de costos y beneficios de la conservación en el manejo de las pesquerías. Sin embargo, dentro de sus análisis no consideraron la redistribución del esfuerzo pesquero al aplicar una veda espacial y sugieren que esta redistribución se debe de tomar en cuenta.

### **1.3. Redistribución del esfuerzo pesquero**

Varios estudios han resaltado la importancia de la comprensión de los procesos involucrados en la redistribución espacial y temporal del esfuerzo pesquero y lo han definido como un factor clave para poder incluir la respuesta de las pesquerías al manejo pesquero (Dowling et al., 2012; Watson et al., 2009; Poos y Rijnsdorp, 2007; Martell et al., 2005; Wilen, 2004). Los tiburones tienen un marcado uso espacial dependiendo de sus estadios ontogénicos (Knip et al., 2010). Los tiburones pelágicos presentan patrones migratorios relacionados con los procesos de reproducción que en algunas ocasiones conllevan a la segregación por edades y sexos (Camhi et al., 2008). Por lo tanto existe la posibilidad que, debido a una veda espacial y la subsecuente redistribución del esfuerzo pesquero, estas especies sean capturadas a edades diferentes en las áreas abiertas. El tiburón sedoso no es la excepción. Su captura incidental en la pesquería de atunes con red de cerco con lances sobre objetos flotantes (PARC-OF) no está uniformemente distribuida de acuerdo a su talla en el OPO. Los tiburones sedosos pequeños (< 90cm LT) y medianos (90 – 150 cm LT), todos ellos juveniles, son

predominantemente capturados al norte del ecuador, mientras que tiburones de tallas grandes ( $> 150$  cm LT), talla que incluye una parte de los juveniles y a todos los adultos, son capturados mayormente al sur del ecuador (Román-Verdesoto y Orozco-Zöller, 2005) (Figura 4). Así, una veda pesquera en el norte del OPO, y la subsecuente redistribución del esfuerzo pesquero hacia áreas donde la concentración de tiburones grandes es mayor, pudiera resultar en un incremento en la captura incidental de hembras maduras. Por el contrario, una veda pesquera al sur del OPO, y la subsecuente redistribución del esfuerzo pesquero hacia áreas donde la concentración de juveniles es mayor, resultará en un incremento en la captura de este estadio.

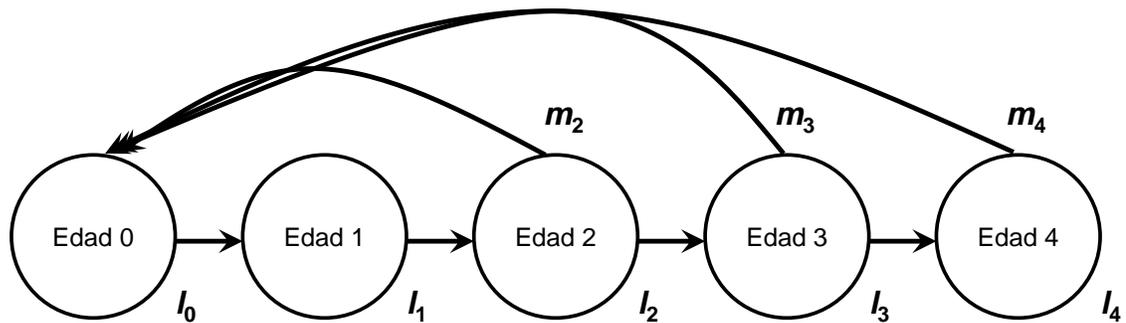


**Figura 4. Distribución espacial del tiburón sedoso por categoría de tallas en lances sobre objetos flotantes durante 1994 a 2012. Modificado de Román-Verdesoto y Orozco-Zöller, 2005; p. 30.**

#### 1.4. Análisis demográficos

El cambio en la distribución por edades de las capturas del tiburón sedoso en el OPO, de acuerdo a la localización geográfica de un área de veda, puede generar un impacto a su crecimiento poblacional. Este impacto se puede evaluar mediante los análisis demográficos, como el análisis del crecimiento poblacional estructurado

por edades. Estos análisis requieren de la información de las historias de vida de la especie como su edad de madurez, longevidad, mortalidad natural, y para las hembras: el porcentaje de hembras maduras por edad, así como el tamaño de la camada hembra por edad (Cortés, 1998). Esta información resulta en la estimación de tasas vitales de la especie como la supervivencia y la fecundidad (Figura 5).



**Figura 5. Representación esquemática de las tasas de supervivencia ( $l_x$ ) y fecundidad ( $m_x$ ) de una especie con una edad máxima de 4 años y una edad de madurez a los 2 años. Modificado de Gotelli, 1998; p 73.**

#### 1.4.1. Supervivencia

La tasa de supervivencia a una edad específica ( $l_x$ ) es la probabilidad que tiene un individuo de cierta edad o clase de edad de poder llegar a la siguiente (Figura 5), y se la define mediante la siguiente ecuación (Simpfendorfer et al., 2005):

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

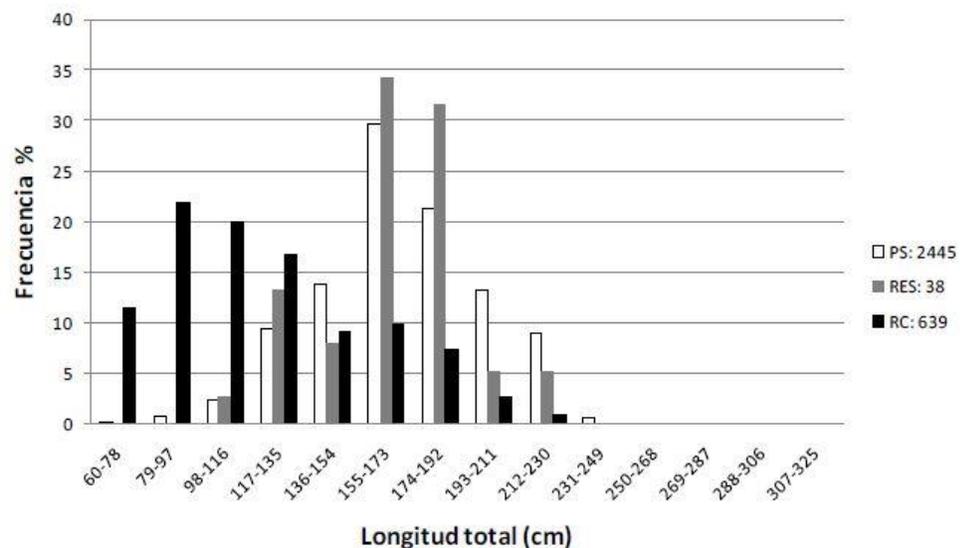
donde  $Z$  es la mortalidad total, o sea, la mortalidad natural ( $M$ ) más la mortalidad por pesca ( $F$ ). El análisis de la curva de captura (Simpfendorfer et al., 2005) estima la supervivencia considerando solamente la mortalidad total; sin embargo se pueden aplicar otras técnicas para estimar  $M$  y  $F$  en forma individual.

##### 1.4.1.1. Mortalidad natural ( $M$ )

Existen varios métodos indirectos para estimar la mortalidad natural de los tiburones (Jensen, 1996; Chen y Watanabe, 1989; Hoenig, 1983; Frisk, 2005, y Peterson y Wroblewski, 1984). Estos métodos se apoyan en las relaciones entre los parámetros de historias de vida como la edad máxima, la edad de madurez, y los parámetros de la curva de crecimiento de Von Bertalanffy, como son  $K$  y  $t_0$  (Cortés, 2002; Simpfendorfer et al., 2005).

### 1.4.1.2. Mortalidad por pesca (F)

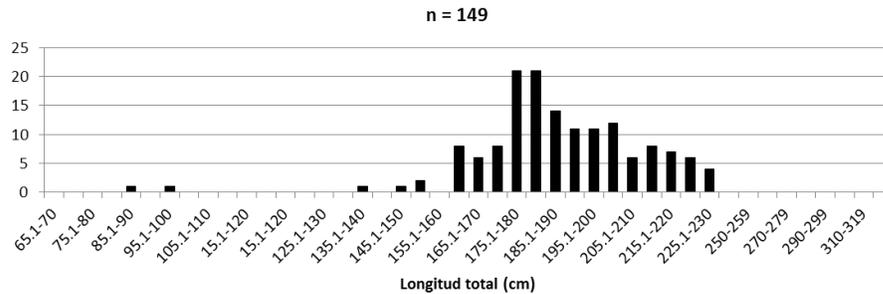
Debido a que en los análisis demográficos se requiere conocer la composición por edades de la captura (en este caso la PARC-OF), es importante conocer la magnitud que representa esta pesquería en la población del tiburón sedoso del OPO. Hasta el inicio de este estudio, el conocimiento general era de que la PARC-OF dominaba las capturas en el OPO, pero recientemente, la CIAT ha encontrado que las capturas de esta especie a través de lances sobre objetos flotantes son menores al 10% de la captura total de los tiburones sedosos en el OPO (Aires-da-Silva et al., 2013), en contraste, las pesquerías de palangre oceánico y artesanales costeras (palangre y red de enmalle) son las que dominan las capturas. Además, se ha observado que la composición de la captura por tallas varía entre las diferentes pesquerías en algunos países (Martínez et al., 2011; Figura 6).



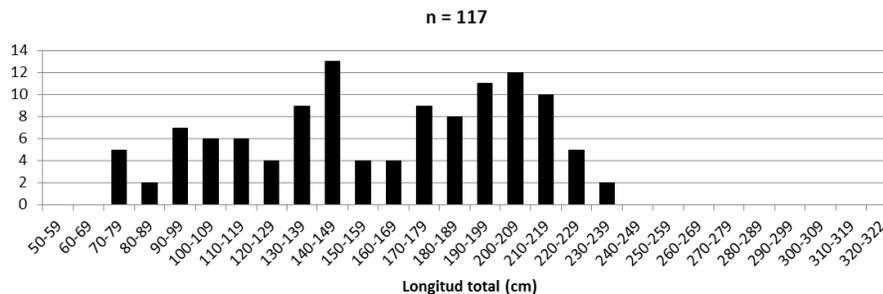
**Figura 6. Composición de las tallas del tiburón sedoso por tipo de arte de pesca, palangre de superficie (PS), red de enmalle de superficie (RES) y red de cerco (RC), periodo 2003 – 2010. Tomado de Martínez et al., 2011; p 10.**

También se han observado diferencias en la composición por tallas de las capturas realizadas con artes de pesca similares y operando en diferentes regiones costeras. Sánchez de Ita (2004) reportó tallas de hembras de tiburón sedoso con una moda en la clase de 180 cm LT (Figura 7), capturadas con redes de enmalle de deriva y palangres de superficie en la costa occidental de Baja California Sur, México. Galván-Tirado (2007) reportó que en el Golfo de Tehuantepec el 70% de

las hembras capturadas utilizando redes de enmalle de superficie y con palangres artesanales tienen longitudes entre 130 y 210 cm LT (Figura 8).

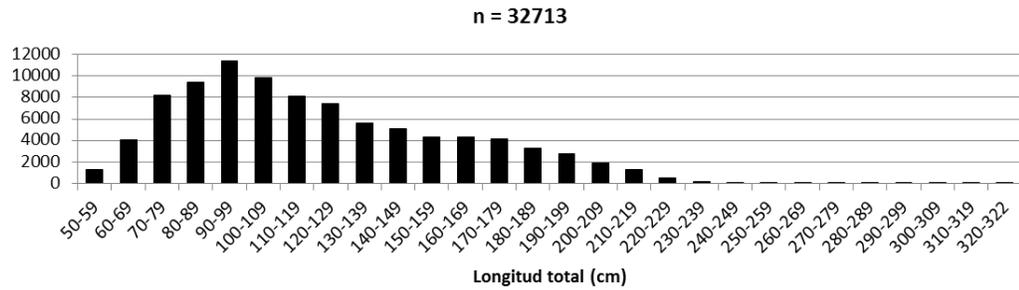


**Figura 7. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembras. Datos tomados de Sánchez de Ita, 2004; p. 23.**

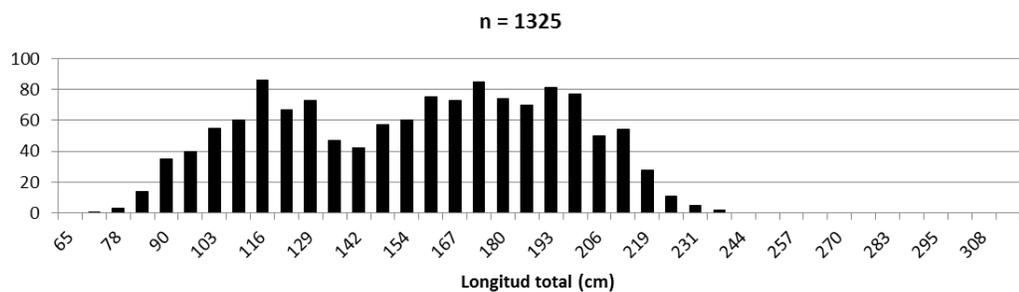


**Figura 8. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembras. Datos tomados de Galván-Tirado, 2007; p. 19.**

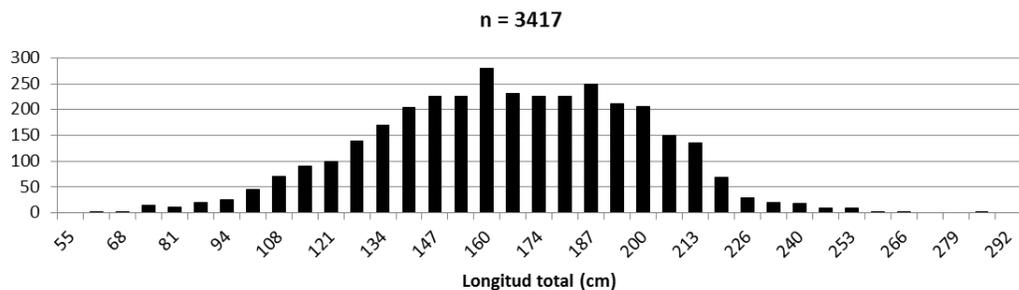
Las tallas de las hembras del tiburón sedoso capturadas con mayor frecuencia en la PARC-OF en el OPO comprenden entre 90 y 99 cm LT (Figura 9). García-Cortés et al. (2011) presentaron la composición de tallas de las hembras del tiburón sedoso capturadas por la pesquería de pez espada con palangre en el OPO y en el Océano Pacífico central (Figura 10) y reportaron una distribución bimodal de las tallas: la primera de 116 cm LT, y la segunda de 174 cm LT. Oshitani et al. (2003) presentaron la composición de tallas de las hembras capturadas en su gran mayoría mediante el arte de palangre en el OPC y OPO (Figura 11), siendo 160 cm LT la moda de esta distribución.



**Figura 9. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra capturados por la PARC-OF. Periodo 2005-2012.**



**Figura 10. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra. Datos tomados de García-Cortés et al., 2011; p. 1614. Tallas convertidas de longitud furcal (LF) a LT.**



**Figura 11. Composición de las tallas de tiburones sedosos hembra. Datos tomados de Oshitani et al., 2003; p.459. Tallas convertidas de LPC a LT.**

Para tomar en consideración la variación en la composición por edades de la captura del tiburón sedoso en el OPO asociada con la diferencia entre la composición de las tallas de la PARC-OF y las otras pesquerías, se debe conocer la estructura por edad de la población del tiburón sedoso en el OPO considerando todas las pesquerías. Desafortunadamente, la información de las capturas del tiburón sedoso por estas pesquerías no ha sido registrada detalladamente y/o no

es accesible. La falta de un monitoreo de la captura a bordo, el reducido mercado de su carne, y los esfuerzos de las autoridades para frenar el “aleteo” (la retención de las aletas y el desecho del resto del cuerpo), son algunas de las causas que pueden alterar el reporte de sus niveles reales de captura (McCoy, 2006). Sin embargo, utilizando la información accesible de las capturas de las pesquerías que operan en el OPO, Aires-da-Silva et al. (2013) hicieron una estimación del estado del stock del tiburón sedoso en esta región utilizando el modelo *Stock Synthesis* (SS) y presentaron el número estimado de tiburones sedosos por edades (Tabla 1).

Tabla 1. Estimación por edad del número de tiburones sedosos en el periodo 2005 - 2010 mediante el modelo SS.

Edad	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	1842100	1744930	2033580	1669510	1761880	1934240
1	1333520	1195770	1142240	1330020	1090280	1150420
2	769008	1031160	938496	894484	1039100	851460
3	539497	586250	800365	724924	689230	800891
4	492365	407648	451441	611012	552596	526199
5	285316	369144	311514	340571	461220	418172
6	258553	212433	280105	232471	254935	346286
7	198393	191611	160392	207387	173015	190360
8	111128	146842	144401	118300	153973	128921
9	100318	82440	110811	106532	87923	114896
10	77441	74802	62452	82041	79501	65891
11	49907	58134	56967	46499	61602	59940
12	36951	37738	44529	42694	35164	46758
13	48988	28137	29065	33591	32517	26865
14	28152	37535	21776	22056	25750	24988
15	18728	21684	29169	16609	17003	19887
16	14745	14488	16909	22343	12864	13185
17	11635	11447	11328	12996	17370	10009
18	7183	9059	8970	8731	10134	13551
19	5160	5605	7111	6929	6825	7923
20	15956	16548	17447	19045	20396	21367

Con base en la información anterior (Tabla 1), la mortalidad por pesca por edad ( $F_{age}$ ) se puede calcular al despejarla de la ecuación de captura de Baranov:

$$C_{age\_est} = \frac{F_{age}}{M_{age} + F_{age}} * N_{age\_ss} (1 - e^{-(M_{age} + F_{age})}), \quad (2)$$

donde  $C_{age\_est}$  representa la captura estimada de acuerdo al arte o artes de pesca,  $N_{age\_ss}$  es el número de tiburones sedosos por edad estimado por el modelo SS, y  $M_{age}$  es la mortalidad natural por edad, obtenida mediante los métodos indirectos.

### 1.4.2. Fecundidad

Otro de los parámetros importantes en la modelación mediante análisis demográficos es la tasa de fecundidad ( $m_x$ ; Figura 5). Esta está definida como el número de crías hembras nacidas de una madre a una edad específica. Si bien no hay un valor estimado para este parámetro, algunos estudios han modelado el tamaño de la camada (machos y hembras) de acuerdo a la edad de la hembra (García-Cortés et al., 2011; Oshitani et al., 2003).

### 1.4.3. Tasa intrínseca de crecimiento poblacional

Uno de los parámetros principales estimado por los análisis demográficos es la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r$ ), la cual mide la tasa del cambio instantáneo en el tamaño poblacional por individuo y por unidad de tiempo. Existen dos maneras de estimarla: mediante las tablas de historias de vida y mediante los modelos matriciales (Simpfendorfer, 2005).

#### 1.4.3.1. Tablas de historias de vida

Las tablas de vida son un método demográfico para estimar, dentro de un marco determinístico, la tasa intrínseca de incremento poblacional con base en la ecuación de Euler-Lotka:

$$\sum_{x=\alpha}^w l_x e^{-rx} m_x = 1.0, \quad (3)$$

en donde  $r$  es un valor aproximado de la tasa intrínseca, obtenido mediante la tasa neta reproductiva ( $R_0$ , el número promedio de crías producidas por una hembra durante su vida) y el tiempo generacional ( $G$ , la edad promedio de los padres de todas las crías producidas en una simple cohorte; Caughley (1977), citado por Gotelli (1998)), y pueden ser estimados con base en las tasas de supervivencia y fecundidad.

En el método de tablas de historias de vida está implícita la condición de que la población se encuentra en equilibrio. Esto es, que la población del tiburón sedoso ha alcanzado una estabilidad en su distribución de edades, por ende, con las mismas tasas de supervivencia y fecundidad por edad año tras año (Cortés, 1998).

#### **1.4.4. Tasa finita de crecimiento poblacional**

Además de la tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ ), existe otro parámetro, llamado tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ), definido como la relación entre el tamaño de la población en un momento determinado y su tamaño a una unidad de tiempo anterior (Pielou, 1976). La tasa finita es igual al exponente de la tasa intrínseca de crecimiento elevado con la base del logaritmo natural ( $e$ ).

#### **1.4.5. Análisis de elasticidad**

Para evaluar los cambios proporcionales de  $\lambda$  tomando en cuenta las tasas vitales de supervivencia y fecundidad, se usa el análisis de la elasticidad. Este análisis permite identificar las tasas vitales que más contribuyen a la tasa finita de crecimiento poblacional  $\lambda$ , para establecer medidas de manejo y conservación de especies en uso (Heppel et al., 1999; Caswell, 2001; Simpfendorfer, 2005). Los análisis de elasticidad realizados por Cortés (2002) para los tiburones sedosos en el Golfo de México indicaron una fuerte dependencia de la tasa de crecimiento poblacional de la supervivencia de los juveniles, con 0.64 y 0.67 en las áreas del noroeste y del sur del Golfo de México, respectivamente.

Los estudios de la dinámica de poblaciones, estructurados por edades del tiburón sedoso en el Océano Pacífico son muy escasos. Oshiya (2000, citado por Dalzell et al., 2008), determinó que los niveles de captura en buques atuneros con red de cerco y de palangre eran sostenibles en el Océano Pacífico occidental y central. Sin embargo, para el OPO no se encontró ningún estudio en el que se aplicara esta metodología.

#### **1.4.6. Incertidumbre en los parámetros de historias de vida**

El nivel de predicción de los modelos demográficos para una especie, depende fundamentalmente de la precisión en la estimación de los parámetros de las historias de vida. El interés científico en el tiburón sedoso ha abarcado muchos aspectos biológicos, entre ellos la mortalidad natural y la reproducción. Varios estudios han reportado una estimación de la mortalidad natural de esta especie, sin embargo sus valores difieren (Jensen, 1996; Chen y Watanabe, 1989; Hoenig, 1983; Frisk, 2005, y Peterson y Wroblewski, 1984). La reproducción del tiburón sedoso se ha descrito en varios estudios realizados en casi todos los océanos del

mundo (Bonfil, 2008). Sin embargo, en los ambientes pelágicos del OPO, debido a los estudios escasos, el nivel de incertidumbre de los parámetros vitales de sus historias de vida en esta región todavía está presente. Para considerar la variación e incertidumbre de los parámetros de las historias de vida y estimar con una mejor precisión los parámetros demográficos, actualmente se utilizan los análisis estocásticos (Simpfendorfer, 2005; Cortés, 2002).

## 2. Objetivos

---

### 2.1. Objetivos generales

Proponer una metodología para el establecimiento hipotético de vedas espaciales que disminuyan la captura incidental del tiburón sedoso y evaluar las respuestas en el crecimiento de la población de esta especie en el Océano Pacífico oriental.

### 2.2. Objetivos específicos

- Determinar las posibles áreas geográficas de veda.
- Desarrollar un análisis de redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF acorde con la implementación de las áreas de veda.
- Estimar la captura resultante del tiburón sedoso derivada de la redistribución del esfuerzo pesquero y su composición por edades.
- Evaluar los efectos en la tasa finita de crecimiento poblacional del tiburón sedoso ( $\lambda$ ) tomando en consideración la estructura por edad de la población capturada por todas las pesquerías en el OPO. Esto, bajo las condiciones actuales de pesca y bajo los efectos de la redistribución del esfuerzo pesquero resultantes del establecimiento de vedas espaciales, aplicadas tanto a la PARC-OF como a todas las pesquerías a través de un modelo demográfico en un marco estocástico.
- Identificar los parámetros demográficos que ejercen una mayor influencia en la tasa de crecimiento poblacional del tiburón sedoso a través de un análisis de elasticidad.

### 3. Hipótesis

---

Debido a que el tiburón sedoso tiene una distribución espacial en la estructura de tallas, con una mayor concentración de juveniles al norte del ecuador y una mayor concentración de individuos adultos al sur del ecuador, la selección de diferentes áreas de veda tendrá un efecto diferente en la demografía de la especie.

El establecimiento de vedas espaciales para disminuir la captura incidental del tiburón sedoso, aplicadas tanto a la PARC-OF como a todas las pesquerías, permitirá evaluar los efectos de esta medida de manejo en el crecimiento de la población de esta especie en el OPO.

## 4. Metodología

---

Se desarrollaron dos metodologías: la primera para el establecimiento de los escenarios de veda, la redistribución del esfuerzo pesquero y la subsecuente captura resultante del tiburón sedoso en cada escenario; y la segunda mediante el empleo de análisis demográficos para la evaluación de los efectos en la población del tiburón sedoso en cada uno de los escenarios de veda. Para ello se utilizó la información recolectada por los observadores de la CIAT y de los programas nacionales de observadores a bordo de las embarcaciones pesqueras de atún que han registrado las capturas incidentales de tiburones desde 1993 (Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner, 2005). Estos datos de capturas cubren casi el 100% de los viajes realizados por buques atuneros con red de cerco con capacidad mayor a 363 toneladas métricas (buques de clase 6; IATTC (2004)). Se utiliza la información de la PARC-OF únicamente, debido a la falta de información de la pesca con palangre tanto artesanal como industrial. En este estudio, la captura incidental de tiburones es definida como aquella en donde los tiburones fueron regresados vivos o muertos al mar, después de haberlos apartado de la red, de que fueran ubicados sobre la cubierta del buque y fueran contados. Los reportes de los observadores a bordo dan cuenta de que algunos tiburones son regresados al mar todavía vivos, sin embargo, debido a las condiciones severas dentro de la red tales como anoxia, estropeo por concentración de la captura, así como altas temperaturas en la cubierta del buque, estos individuos probablemente no sobreviven (Román-Verdesoto; Orozco-Zöllner, 2005).

De 1993 al 2004 la longitud total (LT) de los tiburones se estimaba visualmente y se agrupaban en tres categorías de tallas: pequeños (< 90 cm LT); medianos (90 – 150 cm LT) y grandes (> 150 cm LT). Sin embargo, a partir de 2005 la longitud total se midió individualmente (al centímetro más cercano). El presente análisis solamente incluye a los tiburones sedosos capturados durante el periodo de 2005 a 2012, para poder convertir la longitud individual a edad (sección 4.2.1.2.1.1). Los datos de captura por edad del tiburón sedoso de todas las pesquerías que operan

en el OPO (sección 4.2.1.2.2.2) se calcularon de acuerdo a las estimaciones poblacionales obtenidas del modelo SS (Aires-da-Silva et al., 2013).

#### 4.1. Estructuración de los escenarios de veda

##### 4.1.1. Determinación de las áreas candidatas de veda

La selección de las áreas hipotéticas de veda se la realizó de acuerdo a dos aproximaciones: a) tomando en consideración las regiones de más alta abundancia relativa de tiburones sedosos; y b) tomando en consideración las regiones que podrían representar un alto valor reproductivo para la población del tiburón sedoso debido a una alta presencia de hembras maduras. Por simplicidad, las áreas fueron delimitadas de forma poligonal.

Para la primera aproximación (a), con base en las capturas registradas por los observadores a bordo durante el periodo 2005 a 2012, se identificaron los cuadrantes de 5° x 5° cuya captura reflejaba una mayor probabilidad de captura con un alto número de tiburones sedosos. Bajo este criterio, se consideró arbitrariamente que 20 o más tiburones capturados por lance sobre objetos flotantes representan un número significativo. La tasa con la probabilidad de capturar 20 o más tiburones en un cuadrante de 5° x 5° ( $p_{total_i}$ ) fue obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$p_{total_i} = \frac{\sum_{j=1}^{l_i} z_{ij}}{l_i}, \quad (4)$$

donde  $z_{ij} = 1$  si el  $j$ -ésimo lance en la  $i$ -ésima área de 5° x 5° tenía una captura de 20 o más tiburones sedosos, y en el caso contrario  $z_{ij} = 0$ ;  $l_i$  es el número total de lances para la  $i$ -ésima área de 5° x 5°. Por último, la selección del área de veda candidata se hizo considerando las tasas de probabilidad más elevadas siempre y cuando el número de lances en dicha área fuera representativo (30 o más lances).

Para la segunda aproximación (b) se identificaron cuadrantes de 5° x 5° con una mayor probabilidad de capturar un mayor número de hembras maduras de tiburones sedosos. Para cada lance, los observadores registraron el número total

de hembras capturadas por talla. Cuando el número de hembras capturadas en un lance no se pudo registrar totalmente, por ejemplo cuando la captura de tiburones es alta y no hay el tiempo suficiente para medir y registrar el sexo de todos los tiburones, la información se colectó tomando una muestra proporcional a la captura total y posteriormente se estimó la captura total de hembras por tallas para ese lance. En este análisis solamente se consideraron aquellos lances donde se midió y registró el sexo de los tiburones. Para definir a una hembra madura, se utilizó la longitud estimada por Oshitani et al. (2003) de 193 cm LT como la talla de madurez de las hembras. El número total de hembras en un lance ( $A_f$ ) fue estimado mediante la siguiente ecuación:

$$A_f = \frac{X}{X+Y} T, \quad (5)$$

donde  $X$  es el número de hembras que fueron medidas,  $Y$  es el número de machos que fueron medidos, y  $T$  es el número total de tiburones capturados por lance. El número total de hembras maduras capturadas en un lance ( $A_{mf}$ ) fue estimado mediante la siguiente ecuación:

$$A_{mf} = \left(\frac{X_m}{X}\right) A_f, \quad (6)$$

donde  $X_m$  es el número de hembras maduras que fueron medidas,  $X$  es el número total de hembras que fueron medidas, y  $A_f$  es el número total estimado de tiburones hembra capturado por lance.

Se consideró arbitrariamente que una captura de 3 o más tiburones hembra maduros por lance sobre objetos flotantes representa una captura significativa para la productividad de la población. La tasa con la probabilidad de captura de 3 o más hembras maduras ( $P_{mat\_fem_i}$ ) fue obtenida mediante la ecuación (4), esto es:

$$p_{mat\_fem_i} = \frac{\sum_{j=1}^{l_i} z_{ij}}{l_i}, \quad (7)$$

donde  $z_{ij} = 1$  si el  $j$ -ésimo lance en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$  tenía una captura de 3 o más tiburones sedosos hembras y en caso contrario  $z_{ij} = 0$ ;  $l_i$  es el número de lances en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$ . Para la selección del área de veda candidata

se tomaron en consideración las regiones donde la probabilidad de capturar 3 o más tiburones sedosos hembra maduro es mayor siempre y cuando el número de lances en dicha área sea representativo (30 o más lances sobre objetos flotantes).

#### **4.1.2. Redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF**

Una vez identificadas las áreas potenciales de veda, se procedió a modelar la redistribución del esfuerzo pesquero. Cuando un área se cierra temporalmente la flota se desplaza hacia las áreas abiertas. El esfuerzo se redistribuye conforme a la experiencia de los capitanes de pesca sobre dónde y cuándo ir a pescar en estas áreas abiertas, gracias al conocimiento acumulado de la distribución de la especie objetivo y de sus tasas de captura, entre otros parámetros (Tidd et al., 2012). En esta tesis se modeló la redistribución del esfuerzo pesquero tomando en consideración su distribución histórica como fue sugerido por Watson et al. (2009) y Harley y Suter (2007). El esfuerzo fue redistribuido hacia las áreas abiertas divididas en cuadrantes de  $5^\circ \times 5^\circ$  (90,000 nmi<sup>2</sup>). El análisis de los datos solamente incluyó tiburones capturados incidentalmente en lances sobre objetos flotantes debido a que los tiburones sedosos son mayormente capturados (casi el 90%) en este tipo de lance (Figura 3).

En esta modelación únicamente se consideraron las embarcaciones que exclusivamente realizan lances sobre objetos flotantes. Se excluyeron los lances sobre objetos flotantes realizados de una manera oportunista por buques que comúnmente pescan atunes con otro tipo de lance (lance sobre delfines). Si existiera una veda, estos buques probablemente no saldrían del área de veda para pescar en las áreas abiertas debido a que pueden permanecer en el área de veda realizando lances sobre delfines (Michel Dreyfus: *comunicación personal*). Se consideró que los buques que realizan el 10% o más de los lances sobre objetos flotantes, y 10% o menos de los lances sobre delfines, son buques que pescan sobre objetos flotantes. Los lances sobre cardúmenes no asociados no fueron considerados en este estudio, ya que estos lances son efectuados de manera oportunista, tanto por buques cuyo objetivo es pescar atunes asociados a objetos flotantes como aquellos buques cuyo objetivo es pescar atunes asociados a

delfines. La redistribución del esfuerzo fue simulada para cada uno de los escenarios hipotéticos de veda espacial.

El número resultante de los lances originales más los lances redistribuidos provenientes del área de veda fue calculado para cada cuadrante de  $5^\circ \times 5^\circ$  ( $L_i$ ) del área abierta mediante la siguiente ecuación:

$$L_i = l_i + \left( \frac{l_i}{\sum_{i \in A} l_i} \right) (\sum_{k \in V} l_k) \quad (8)$$

donde  $A$  es la región externa del área de la veda (área abierta) y  $V$  es el área de veda;  $l_i$  es el número de lances efectuados en la  $i$ -ésima área abierta de  $5^\circ \times 5^\circ$ , y  $l_k$  es el número de lances efectuados en el área cerrada. Posteriormente, la captura resultante redistribuida en las áreas abiertas de los tiburones sedosos ( $B_i$ ) para cada cuadrante de  $5^\circ \times 5^\circ$  fue calculada mediante la ecuación:

$$B_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^{l_i} y_{ij}}{l_i} \right) L_i, \quad (9)$$

donde  $y_{ij}$  es la captura total de tiburones sedosos en el  $j$ -ésimo lance, en la  $i$ -ésima área abierta de  $5^\circ \times 5^\circ$ .

Para estimar los efectos de la redistribución del esfuerzo pesquero en la captura de túnidos, se obtuvo también la captura resultante de atún aleta amarilla, barrilete y patudo. Para esto se utilizó la ecuación (9), con  $y_{ij}$  como la captura de atún por especie en el  $j$ -ésimo lance, en la  $i$ -ésima área abierta de  $5^\circ \times 5^\circ$ .

#### 4.2. Análisis demográficos

Para evaluar la dinámica poblacional del tiburón sedoso se realizaron los análisis demográficos de acuerdo con varios escenarios de veda. Se establecieron los siguientes supuestos: se consideró a los tiburones sedosos en el OPO como de una sola población y se consideró al tiburón sedoso en el OPO como una población cerrada, en donde no hay variación en la demografía de la población debido a emigración o inmigración. Todos los cálculos de este análisis fueron codificados en el Lenguaje R de computación estadística (R Development Core Team, 2006).

En este análisis se consideró la incertidumbre en algunos parámetros de las tasas vitales que pueden reflejar incertidumbre o variación en la evaluación de la dinámica poblacional del tiburón sedoso. Se realizaron análisis estocásticos mediante simulaciones de Monte Carlo para obtener distribuciones de frecuencia de la tasa de crecimiento poblacional (Cortés, 2002; Beerkircher, 2003).

#### **4.2.1. Supervivencia**

La proporción de la población de tiburones sedosos que sobreviven por edad ( $l_x$ ) fue calculada por medio de la ecuación (1) (Simpfendorfer et al., 2005), donde  $Z$  fue descompuesto entre la mortalidad natural  $M$  y la mortalidad por pesca  $F$ . Se asumió la proporción de 1 en la supervivencia para la edad 0.

##### **4.2.1.1. Estimación de la mortalidad natural ( $M$ )**

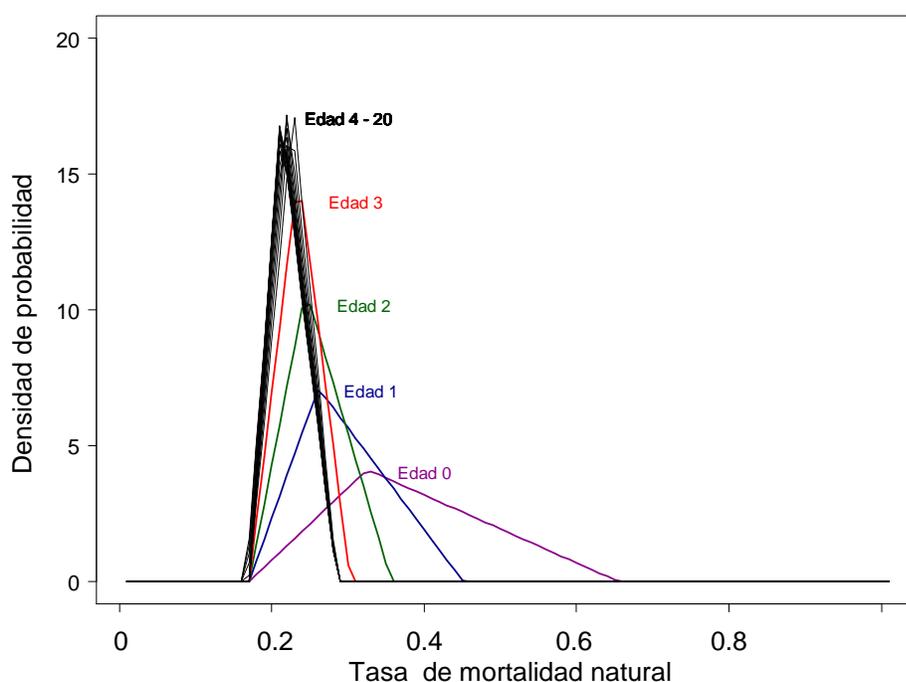
La estimación de las tasas de mortalidad natural  $M$  de los tiburones sedosos fue cuantificada de acuerdo a un conjunto de métodos indirectos del cálculo de la mortalidad natural realizados por Jensen (1996), Chen y Watanabe (1989), Hoenig (1983), Frisk (2005), y Peterson y Wroblewski (1984). El método de Jensen (1996) fue desarrollado de acuerdo a la relación con la edad de madurez (6 y 7 años) y de acuerdo al coeficiente de crecimiento  $K$  de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (Tabla 2). El método de Chen y Watanabe (1989) estima la mortalidad natural de acuerdo a dos funciones, una que describe la tasa de mortalidad descendente en las etapas tempranas de la vida, antes de la madurez sexual, y una segunda que describe la mortalidad ascendente en las etapas finales, después de la madurez sexual (Tabla 2). Para cuantificar estos valores, este método considera los parámetros de la curva de crecimiento de Von Bertalanffy. Se aplicó este método utilizando los parámetros de crecimiento de acuerdo a Oshitani et al. (2003). El método de Hoenig (1983) usa la edad máxima observada en funciones que varían de acuerdo a las estrategias de vida de la especie (Simpfendorfer et al., 2005). La función para los peces teleósteos fue aplicada en este método (Tabla 2). Se tomó la aproximación de obtener la estimación de la mortalidad natural de acuerdo a tres edades máximas: 20 años, de acuerdo al grupo de edad “plus” del modelo SS (Aires-da-Silva et al., 2013); 22 años, de acuerdo a la edad máxima estimada por Bonfil et al. (1993) para el tiburón sedoso en el Banco de Campeche,

y una edad máxima de 26 años, de acuerdo a los datos de captura por edad del tiburón sedoso obtenidos de la PARC-OF. Los valores de mortalidad natural de Frisk (2005) fueron obtenidos directamente de su estudio: 0.45 para tiburones de edad cero, y 0.18 para edades mayores. Por último, el método de Peterson y Wroblewski (1984) es un método que varía con la edad y el peso (Tabla 2). Se estimó la longitud pre-caudal (LPC) en relación con la edad, usando la función de crecimiento de Von Bertalanffy, de acuerdo a los parámetros de crecimiento de Oshitani et al. (2003), y luego convirtiendo estos valores a peso corporal, de acuerdo a la función de conversión de Oshitani et al. (2003). Debido a que la función de Peterson y Wroblewski (1984) involucra el peso seco, se usó un factor de conversión de 1/5 para obtener el peso seco de acuerdo a la aproximación desarrollada por Cortés (2002). Se calculó la tasa de mortalidad natural para cada una de las edades del tiburón sedoso.

Tabla 2. Métodos indirectos para el cálculo de la mortalidad natural para el tiburón sedoso.

Referencia	Método	Comentarios
Jensen (1996)	$M = 1.65/Xm$ $M = 1.6K$ $M = 1.5K$	$K$ : coeficiente de crecimiento de Von Bertalanffy (VB) $Xm$ : edad de madurez
Chen y Watanabe (1989)	$M_t = \frac{k}{(1 - e^{-k(t-t_0)})}, t \leq t_m$ $M_t = \frac{k}{a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2}, t \geq t_m$	$a_0, a_1, a_2$ y $t_m$ : Valores ajustados de los parámetros de VB ( $k$ y $t_0$ )
Hoenig (1983)	$\ln(Z) = 1.46 - 1.01(\ln t_{max})$	$M = Z$ $t_{max}$ : edad máxima
Frisk et al. (2005)	0.45 (edad 0 años) 0.18 (edad $\geq 1$ año)	Valores obtenidos mediante el método de Hoenig (1983)
Peterson y Wroblewski (1984)	$M = 1.92W^{-0.25}$	$W$ : peso a edad $x$

La incertidumbre generada por la variación de los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos indirectos fue evaluada al seleccionar valores aleatorios de mortalidad natural, calculados por medio de funciones de probabilidad triangular. Estas funciones representan la incertidumbre en el parámetro de mortalidad natural, debido a que permiten obtener valores aleatorios generados de una distribución triangular, dentro de una banda de probabilidades limitadas por el valor mínimo y máximo de mortalidad natural para cada edad obtenida de los métodos indirectos, siendo el vértice superior de esta distribución el parámetro de mayor probabilidad, el cual fue considerado como la media (Figura 12).



**Figura 12. Distribución de la densidad de probabilidad triangular de las tasas de mortalidad natural para las edades del tiburón sedoso.**

#### 4.2.1.2. Mortalidad por pesca (F)

##### 4.2.1.2.1. Estructura de las tallas de captura

El número de tiburones sedosos capturados en la PARC-OF con base en su longitud total y sexo ( $BTL_{si}$ ) fue calculado para cada área de  $5^\circ \times 5^\circ$  mediante la siguiente ecuación:

$$BTL_{Si} = \frac{BLS_i}{Y_i + X_i} T_i, \quad (10)$$

donde  $BLS_i$  es el número de tiburones sedosos de acuerdo a su longitud total, de acuerdo al sexo, y que fueron medidos en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$ ;  $Y_i$  es el número de tiburones sedosos machos que fueron medidos en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$ ;  $X_i$  es el número de tiburones sedosos hembras que fueron medidas en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$ , y  $T_i$  es el número total de tiburones que fueron capturados incidentalmente en la  $i$ -ésima área de  $5^\circ \times 5^\circ$ . Se observaron tamaños de muestras pequeñas ( $n < 5$ ) de las mediciones de tallas al sur de la latitud de  $15^\circ$  S. Con el fin de tener zonas con un tamaño de muestra representativo, estas áreas sureñas se combinaron entre sí y con áreas adyacentes al norte con un tamaño de muestra mayor. Al sur de los  $10^\circ$ S el OPO fue dividido en 3 zonas: al este de  $95^\circ$  W,  $95^\circ$  W -  $125^\circ$  W, y  $125^\circ$  W -  $150^\circ$  W. Finalmente, se totalizó el número de tiburones por cada una de las áreas abiertas de  $5^\circ \times 5^\circ$  de acuerdo a la longitud total.

#### 4.2.1.2.1.1. Estimación de la edad con base en la ecuación de Von Bertalanffy

Las longitudes totales fueron convertidas a edades utilizando la función de crecimiento de von Bertalanffy, con los parámetros de crecimiento para la combinación de ambos sexos obtenidos por Oshitani et al. (2003):

$$L_t = 216.4(1 - e^{0.148(t+1.76)}), \quad (11)$$

donde  $t$  es la edad y  $L_t$  es la longitud pre-caudal (LPC, en cm) a esta edad  $t$ . Debido a que en los datos aquí usados la talla está expresada en longitud total (LT), ésta se convirtió a LPC utilizando la ecuación de Oshitani et al. (2003):

$$LPC = \frac{LT - 2.08}{1.32}. \quad (12)$$

La edad ( $t$ ) se obtuvo al reordenar la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy:

$$t = -1.76 - \frac{\ln\left(1 - \frac{LPC}{216.4}\right)}{0.148}. \quad (13)$$

#### 4.2.1.2.2. Estructura por edades de la captura de los tiburones sedosos

Se calculó la composición de las edades de los tiburones sedosos hembra durante el periodo 2005 – 2012, y se usó esta composición para estimar la estructura por edades de las hembras capturadas en todas las pesquerías presentes en el OPO. Este análisis fue realizado tanto para las condiciones existentes como para cada uno de los escenarios de veda.

##### 4.2.1.2.2.1. Estructura por edades de los tiburones sedosos capturados en la PARC-OF

Se agruparon todas las hembras conforme a su edad de acuerdo a las condiciones existentes de la PARC-OF, así como de la estimación de la captura resultante de la redistribución del esfuerzo proveniente de cada escenario de veda.

##### 4.2.1.2.2.2. Estructura por edades de los tiburones sedosos capturados en todas las pesquerías

La composición de la captura por edad de los tiburones sedosos hembra capturados por todas las pesquerías se estimó considerando dos metodologías de redistribución del esfuerzo pesquero: a) suponiendo que solamente el esfuerzo de la PARC-OF fue redistribuido (método 1); y b) suponiendo que el esfuerzo de todas las pesquerías fue redistribuido (método 2). En ambas metodologías se utilizó la estimación de la composición actual de la estructura de las edades capturadas por todas las pesquerías que operan en el OPO ( $C_{age\_ss}$ ), derivada del modelo de evaluación de poblaciones SS (Aires-da-Silva et al., 2013).

El método 1 se basó en el uso de la siguiente ecuación:

$$C_{age\_1} = (C_{age\_ss} - C_{age\_PS\_cc}) + C_{age\_PS\_redistrib} \quad (14)$$

y para el método 2 se utilizó la ecuación:

$$C_{age\_2} = C_{age\_ss} \left( \frac{C_{age\_PS\_redistrib}}{C_{age\_PS\_cc}} \right), \quad (15)$$

donde  $C_{age\_ss}$  es la captura por edad del tiburón sedoso de todas las pesquerías obtenida del modelo SS (Aires-da-Silva et al., 2013);  $C_{age\_PS\_cc}$  es la captura por edad de la PARC-OF en las condiciones existentes, y  $C_{age\_PS\_redistrib}$  es la captura por

edad resultante de la redistribución del esfuerzo de la PARC-OF proveniente de un escenario de veda. Los análisis del modelo SS utilizan como límite una edad máxima de 20 años, a la cual se le suma el número de tiburones con edades mayores (20+) (Alexandre Aires-da-Silva: *comunicación personal*), por lo que los análisis subsiguientes fueron realizados considerando este grupo “plus”.

Debido a que en las dos metodologías se realizarán inferencias sobre la captura por edad de todas las pesquerías en el OPO basados en la información de la captura por edad de la PARC-OF, es necesario conocer la magnitud real del esfuerzo pesquero de las otras pesquerías así como su dinámica pesquera, algo no del todo conocido hasta la presente, por tal motivo se supuso que todas las pesquerías tienen un poder de esfuerzo similar a la de la PARC-OF, o sea, un mismo patrón de búsqueda y una igual oportunidad, en tiempo y espacio, de capturar tiburones sedosos.

#### **4.2.1.2.3. Estimación de la mortalidad por pesca ( $F$ )**

El cálculo de la mortalidad por pesca  $F$  para cada una de las edades del tiburón sedoso requiere primeramente la modelación de los datos de captura por edad de las hembras tomando en consideración todas las pesquerías en el OPO con los siguientes parámetros obtenidos del modelo SS (Aires-da-Silva et al., 2013):  $N_{age\_ss}$  es el número de hembras por edad en la población obtenida del modelo SS;  $F_{age\_ss}$ , es la mortalidad por pesca calculada mediante el modelo SS, y  $C_{age\_ss}$  (descrita anteriormente).

##### **4.2.1.2.3.1. Ecuación de Baranov**

Mediante la ecuación de captura de Baranov (2), se calculó iteradamente un parámetro aproximado ( $C_{age\_est}$ ), cuya diferencia con la captura por edad resultante de la redistribución del esfuerzo fue minimizada con una función “objetivo”.  $M_{age}$ , es la media de la mortalidad natural obtenida de los métodos indirectos. Finalmente,  $F$  fue calculada para cada edad del tiburón sedoso optimizando la función “objetivo” con el valor inicial (edad cero) de  $F_{age\_ss}$ . Se realizó este análisis para las dos metodologías de redistribución del esfuerzo ( $C_{age\_1}$  y  $C_{age\_2}$ ).

#### 4.2.2. Fecundidad

Oshitani et al. (2003) reportaron que en la zona pelágica del Océano Pacífico central y oriental las hembras alcanzaban una talla de madurez a los 145 y 150 cm LPC, lo que implicaba una edad estimada de 6 y 7 años, respectivamente, de acuerdo a la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy estimada con sus parámetros de crecimiento. Similarmente, García-Cortés et al. (2012) reportaron que el 50% de las hembras preñadas medían aproximadamente 165 cm de LF, lo que implicaba una edad aproximada de 7 años, de acuerdo a la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy estimada con los parámetros de Oshitani et al. (2003). La disyuntiva de estas dos edades indicó un nivel de incertidumbre en la edad de madurez la cual se tomó en consideración al hacerla variar uniformemente entre 6 y 7 años.

El modelo lineal entre el tamaño de la camada y la edad de la madre, aplicado por García-Cortés et al. (2012) fue usado para obtener el número de crías de acuerdo a una edad específica:

$$NC = -18.5709 + 0.143531 * LF, \quad (16)$$

donde  $LF$  es la longitud furcal de las hembras preñadas y  $NC$  es el número de crías. Los valores residuales del modelo lineal fueron tomados para una medida del nivel de incertidumbre. Se tomaron valores aleatorios del número de crías de acuerdo a una distribución de probabilidades con un intervalo de confianza de 90%. Se observó que la dispersión de los residuales no era uniforme a lo largo de la línea de regresión del modelo. Debido a esto, se tomó la aproximación de asignar un error estándar promedio de acuerdo a grupos de longitudes con el propósito de poder obtener valores aleatorios acordes con el nivel de dispersión del modelo. Se utilizó un error estándar de 0.75 para hembras menores a 160 cm (LF); un error estándar de 1.6 para hembras entre 160 y 179 cm (LF), y un error estándar de 1.8 para hembras iguales o mayores a 180 cm (LF).

Oshitani et al. (2003) encontraron embriones con una relación macho-hembra de 1:1.06. García-Cortés et al. (2012) encontraron una relación aproximada de

1:1.124. El valor de la relación se obtuvo extrayendo aleatoriamente un valor dentro de una distribución de probabilidades uniformes entre estas dos relaciones.

Los estudios del ciclo reproductivo del tiburón sedoso han sugerido que para esta especie existe un año de preñez seguido de un año de descanso (Bonfil, 2008; Cadena-Cárdenas, 2001; Branstetter, 1987). Debido a esto, la estimación de la fecundidad fue realizada con un ciclo reproductivo de dos años para las hembras.

Finalmente, el número de crías hembras nacidas de una madre a una edad específica ( $m_x$ ) fue calculado del producto entre el número de crías de acuerdo a una edad específica de la madre (ecuación 16) y la proporción de las hembras de la relación macho-hembra, y dividido entre la longitud del ciclo reproductivo.

#### **4.2.3. Estimación de la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ )**

Se calcularon los valores de  $\lambda$  para evaluar la dinámica poblacional del tiburón sedoso para las condiciones existentes de pesca y para cada escenario de veda.

##### **4.2.3.1. Tablas de historias de vida**

La captura por edad de las hembras obtenidas de las pesquerías en el OPO, tanto en las condiciones existentes como en cada escenario de veda y de acuerdo a las dos metodologías de redistribución del esfuerzo pesquero fue aplicada a un modelo estructurado por edades mediante la generación de tablas de vida. En este análisis se supuso que la población se encontraba en una condición de equilibrio.

Para iniciar el desarrollo del modelo, son necesarias dos tasas vitales: la tasa de supervivencia y la tasa de fecundidad, y sus valores fueron tomados de estudios efectuados en la zona pelágica del OPO. En los casos en que la literatura para dicha región no estaba disponible, se tomaron los estudios de los parámetros vitales realizados en otras áreas.

##### **4.2.3.1.1. Cálculo de la tasa neta reproductiva ( $R_0$ )**

Con los valores de supervivencia y fecundidad, se obtuvo la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_0 = \sum_{x=0}^k l_x m_x, \quad (17)$$

donde  $l_x$  y  $m_x$  son la supervivencia y fecundidad, respectivamente.

#### 4.2.3.1.2. Cálculo del tiempo generacional ( $G$ )

El tiempo generacional ( $G$ ) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\sum_{x=0}^k l_x m_x x}{\sum_{x=0}^k l_x m_x} \quad (18)$$

#### 4.2.3.1.3. Cálculo de la tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ )

Con los valores obtenidos de  $R_0$  y  $G$  se calculó el valor aproximado de  $r$ , mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\ln(R_0)}{G} . \quad (19)$$

Este valor aproximado de  $r$  fue usado como punto de referencia para encontrar la tasa intrínseca de crecimiento. Mediante un proceso iterativo se asignó un valor aproximado de  $r$  en la ecuación de Euler-Lotka. El valor definitivo de  $r$  de la ecuación (3) se encontró cuando el resultado fue igual a 1.0.

#### 4.2.3.1.4. Cálculo de la tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ )

La tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) fue obtenida por la siguiente ecuación:

$$\lambda = e^r . \quad (20)$$

Finalmente, se hicieron simulaciones de Monte Carlo de 100,000 iteraciones para las condiciones existentes y en cada uno de los escenarios de veda considerando las variaciones en las tasas vitales de supervivencia y reproducción (edad de primera madurez, mortalidad natural y fecundidad). Se obtuvo el promedio y la desviación estándar de la distribución normal de las tasas finitas de crecimiento y se encontraron los valores de la variación de esta distribución de acuerdo a los parámetros estadísticos mencionados dentro de un intervalo de confianza de 0.95. Estos cálculos fueron codificados en el Lenguaje R de computación estadística (R Development Core Team, 2006).

### 4.2.3.2. Métodos matriciales

#### 4.2.3.2.1. Análisis de elasticidad

Se realizaron análisis de elasticidad de la dinámica poblacional del tiburón sedoso para obtener una mejor visión de la influencia que los cambios proporcionales de

sus tasas vitales puedan tener en la tasa finita de crecimiento poblacional  $\lambda$ . Debido a que la elasticidad depende exclusivamente de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad y no del número de individuos, las simulaciones fueron realizadas de acuerdo a las condiciones existentes solamente. Como paso inicial, se transformaron a clases de edades la supervivencia y fecundidad por edad obtenidas del análisis demográfico mediante tablas de historias de vida y se registraron estas tasas dentro de una matriz de transición de Leslie ( $M$ ),

$$M = \begin{bmatrix} F_0 & F_1 & F_2 & F_3 & \dots & F_x \\ P_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{x-1} & 0 \end{bmatrix}$$

Las probabilidades de supervivencia por clase de edad ( $P_i$ ) de la matriz de transición fueron calculadas mediante la siguiente ecuación (Gotelli, 1998):

$$P_i = l_i / l_{i-1}, \quad (21)$$

donde  $l_i$  es la supervivencia a una clase de edad  $i$ . Las tasas de fecundidad por clase de edad de la matriz de transición ( $F_i$ ) fueron calculadas mediante la siguiente ecuación (Gotelli, 1998):

$$F_i = m_i * P_i, \quad (22)$$

donde  $m_i$  es la fecundidad a una clase de edad  $i$ .

Con los elementos de la matriz de transición, se calculó la elasticidad ( $e_{ij}$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$e_{ij} = \frac{a_{ij}}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}}, \quad (23)$$

donde  $a_{ij}$  son los elementos de la matriz de Leslie y  $\lambda$  es la tasa finita de crecimiento poblacional.

El análisis fue desarrollado estocásticamente, con simulaciones de Monte Carlo de 100,000 iteraciones, obteniendo en cada una los valores de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad de las 20 clases de edades. Luego se calculó el promedio del valor de las tasas vitales por clase de edad y se sumaron los

promedios por estadio para obtener las proporciones de supervivencia (de adultos y juveniles) y fecundidad (de adultos). Se reportó el análisis de elasticidad de acuerdo a dos aproximaciones: considerando la madurez sexual del tiburón sedoso a) a los 6 años de edad (juveniles de clase de edad 1 a 6); y b) a los 7 años de edad (juveniles de clase de edad 1 a 7). El cálculo matricial fue realizado utilizando el paquete “popbio” (Stubben et al., 2012), codificado en el Lenguaje R de computación estadística (R Development Core Team, 2006).

## 5. Resultados

---

### 5.1. Estructuración de los escenarios de veda

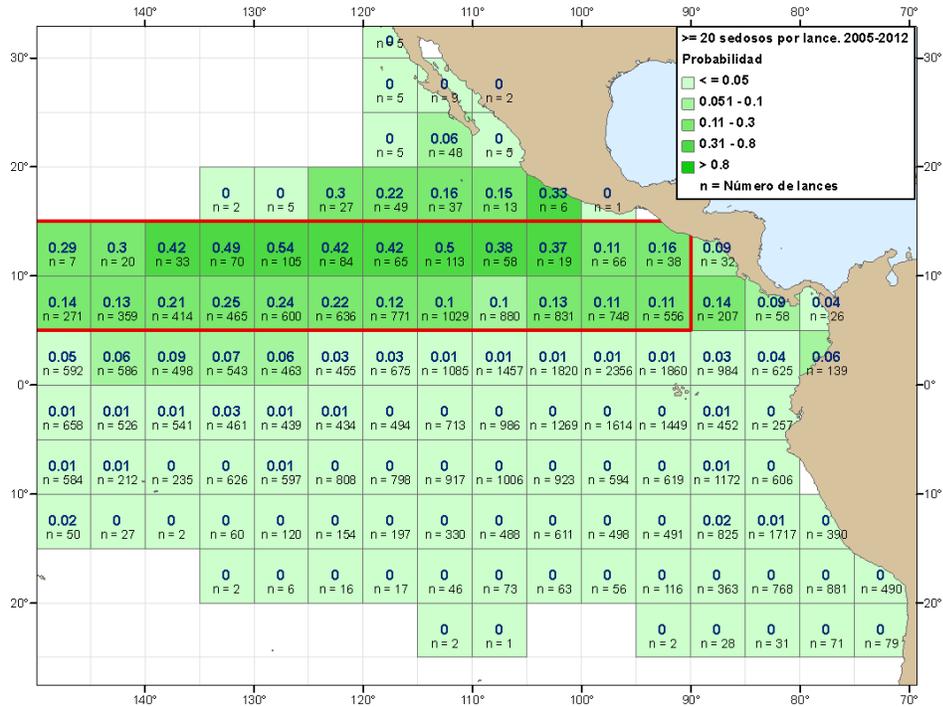
#### 5.1.1. Determinación de las áreas candidatas de veda

En la Figura 13 se indica la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance a objeto flotante para cada área de  $5^\circ \times 5^\circ$  (periodo de 2005 a 2012). Se encontró que en el área limitada en el norte por la latitud  $15^\circ\text{N}$  y en el sur por la latitud  $5^\circ\text{N}$ , en el este por la longitud  $90^\circ\text{W}$  y en el oeste por la longitud  $150^\circ\text{W}$ , se encuentran los cuadrantes con una mayor probabilidad, con valores entre 0.1 y 0.5, en un promedio de lances de 955 y 105 respectivamente. El promedio de la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance sobre objetos flotantes fue de 0.26 dentro del área norteña y 0.02 fuera de ella. Esta área ocupa una extensión de 2,160,000 millas náuticas cuadradas (Figura 13) y fue utilizada como la base del primer escenario de veda y denominada como área de veda norteña, debido a su ubicación geográfica. Esta área norteña se caracteriza por tener una concentración alta de tiburones sedosos juveniles en el OPO (Figura 4).

Al utilizar el criterio de identificar áreas con una mayor probabilidad de capturar 3 o más tiburones sedosos hembras y sexualmente maduras en un lance a objeto flotante, se encontró el área limitada en el norte por la latitud  $5^\circ\text{N}$  y en el sur por la latitud  $10^\circ\text{S}$ , en el este por la longitud  $110^\circ\text{W}$  y en el oeste por la longitud  $150^\circ\text{W}$  (Figura 14). Esta área será subsecuentemente denominada como área de veda sureña. Esta área, como la de veda norteña también tiene una extensión de 2,160,000 millas náuticas cuadradas. La probabilidad de captura en cada una de las áreas de  $5^\circ \times 5^\circ$  con el criterio expuesto anteriormente fluctuó entre 0.02, con un promedio de 142 lances, y 0.12, con 58 lances (Figura 14). La probabilidad promedio de capturar 3 o más hembras maduras en un lance sobre objetos flotantes fue de 0.05 dentro del área sureña y 0.08 fuera de ella (Tabla 3).

Para escenarios posteriores se dividió el área norteña en tres secciones, haciendo de cada una un nuevo escenario de veda con el objetivo de reducir el área de veda norteña, en caso que la tasa de crecimiento poblacional fuera muy elevada. Las 3

sub-áreas dentro de la veda norteña serán denominadas área de veda norteña A, B y C. El área de veda norteña A comprendió desde la longitud 150°W a la longitud 130°W, el área de veda norteña B comprendió desde la longitud 130°W a la longitud 110°W, y el área de veda norteña C comprendió desde la longitud 110°W a la longitud 90°W, cada una con una extensión de 720,000 millas náuticas cuadradas (Figura 15)



**Figura 13. Probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance a objeto flotante y área de veda seleccionada. Periodo 2005 – 2012.**

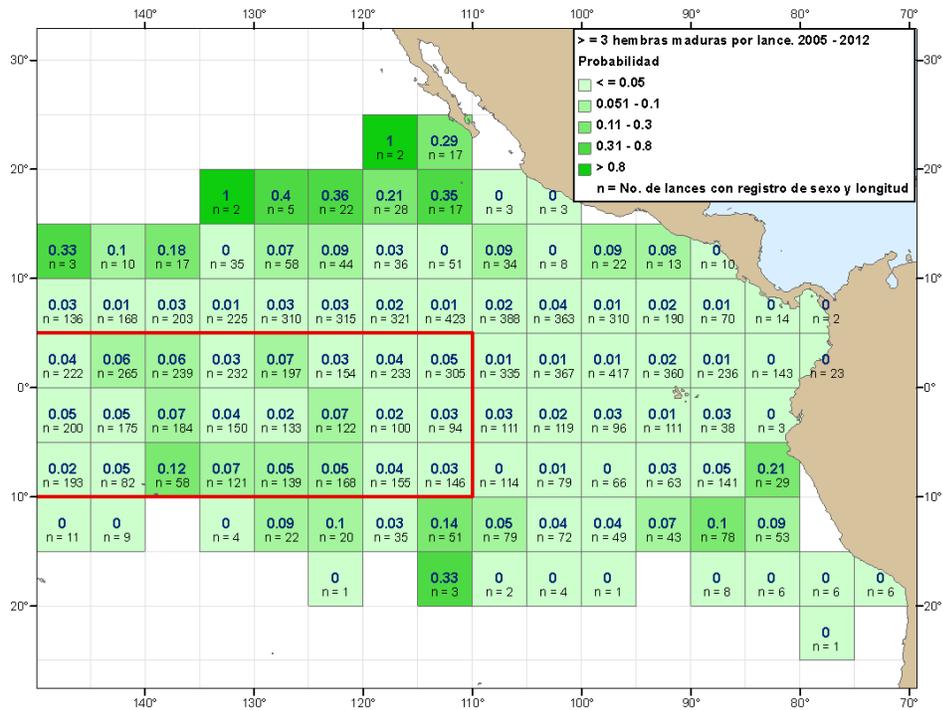


Figura 14. Probabilidad de capturar 3 o más tiburones sedosos hembras maduras en un lance y área de veda seleccionada. Periodo 2005 – 2012.

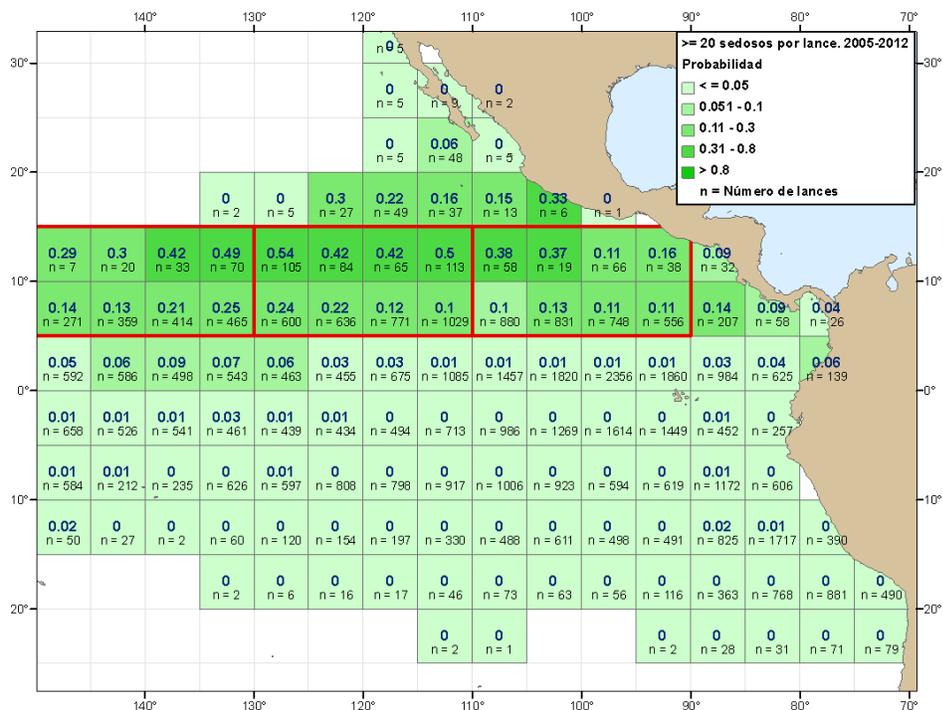


Figura 15. Probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos en un lance a objeto flotante y selección de veda nortena A (izquierda), B (centro) y C (derecha).

Tabla 3. Promedios de la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos, y 3 o más hembras maduras por lance en la PARC-OF. Los asteriscos indican solamente los lances con registro de sexo y longitud de tiburones sedosos.

Aproximación	Ubicación en el área	Probabilidad de captura (media)	Número lances (media)	Número total de lances
≥ 20 tiburones	Dentro	0.26	343	8,238
	Fuera	0.02	451	43,741
≥ 3 hembras maduras	Dentro	0.05	169*	4,067*
	Fuera	0.08	92*	7,293*

### 5.1.2. Redistribución del esfuerzo pesquero

Previo a la redistribución del esfuerzo pesquero durante las condiciones existentes, en el periodo 2005 – 2012, la mayor cantidad de lances sobre objetos flotantes se distribuyeron entre las latitudes de 10°N y de 20°S, y desde aproximadamente 120 millas de la costa hasta aproximadamente 2,400 millas aguas afuera (Figura 16). La captura total de tiburones sedosos es mucho mayor entre las latitudes de 0° y de 15°N.

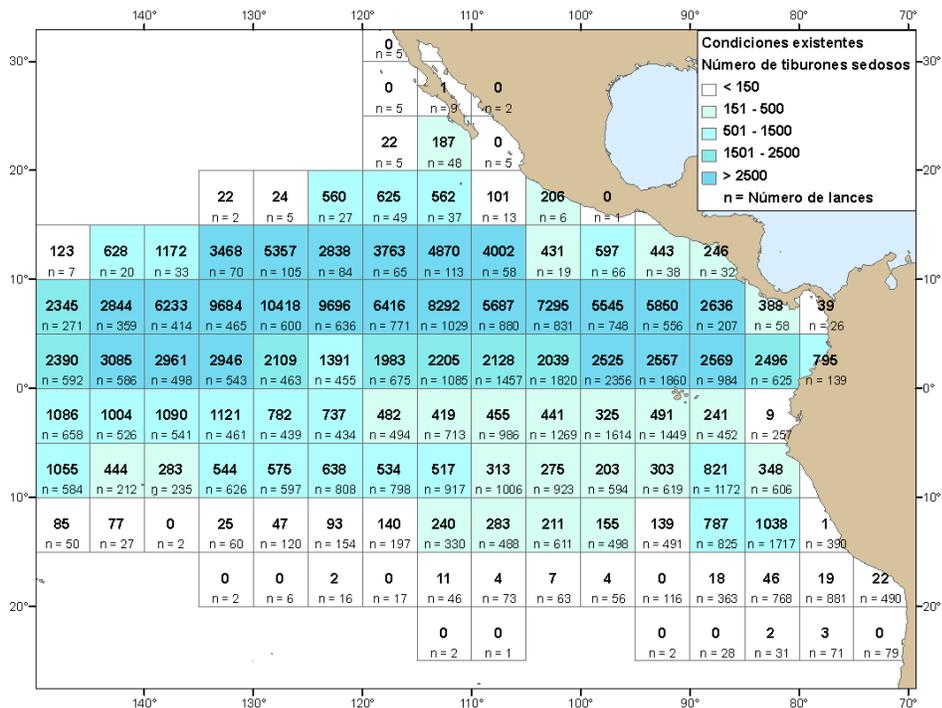
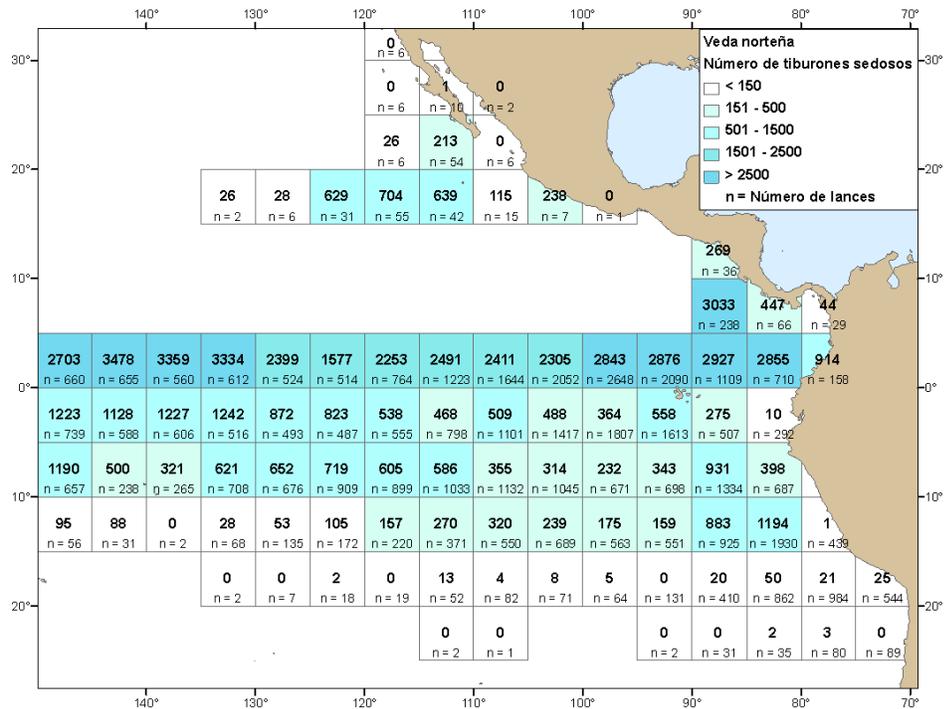


Figura 16. Número de lances y captura de tiburones sedosos en la PARC-OF de acuerdo a las condiciones existentes, durante el periodo 2005 - 2012.

Con la veda norteña hipotética, el número redistribuido de lances sobre objetos flotantes se localizó en mayor número al sur de la latitud de 5°N, siguiendo un patrón de distribución espacial similar al de las condiciones existentes. El número total de la captura resultante de tiburones sedosos fue mucho mayor entre las latitudes de 0° y de 10°N (Figura 17). Con la implementación de la veda sureña hipotética, el número redistribuido de lances sobre objetos flotantes se relocalizó en mayor número al sur de la latitud de 10°N, y de 20°S. El número total de la captura resultante de tiburones sedosos fue mucho mayor entre las latitudes de 0° y de 15°N (Figura 18). Las áreas de veda norteñas A, B y C mostraron una mayor cantidad de lances sobre objetos flotantes entre las longitudes de 10°N y de 20°S, similar al de las condiciones existentes, así como la distribución de los valores más altos de la captura resultante de tiburones sedosos (Figuras 19-21).



**Figura 17. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña.**



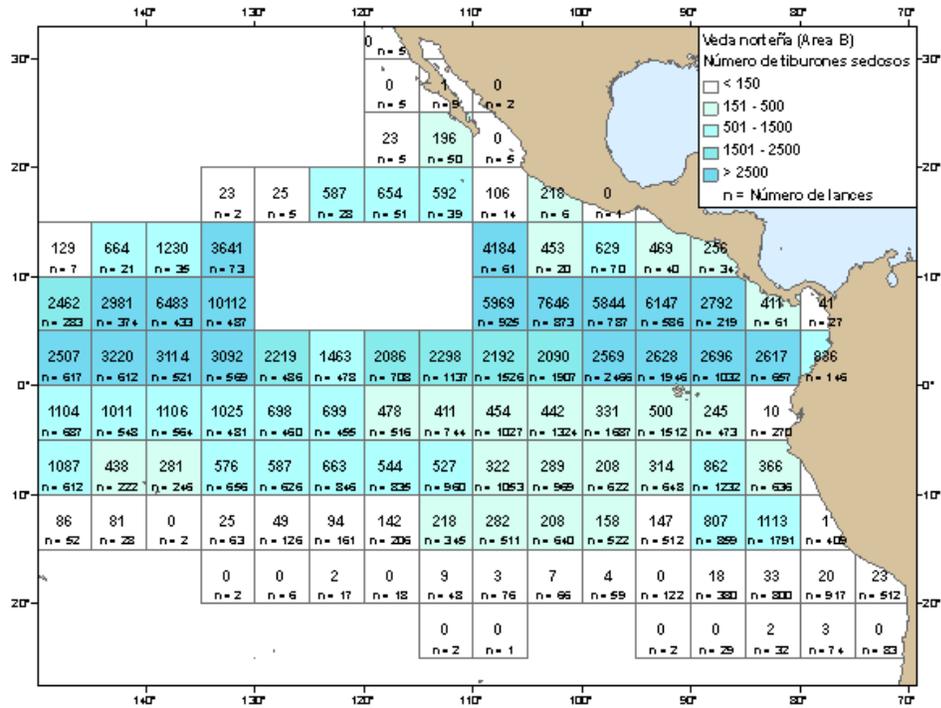


Figura 20. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña B.

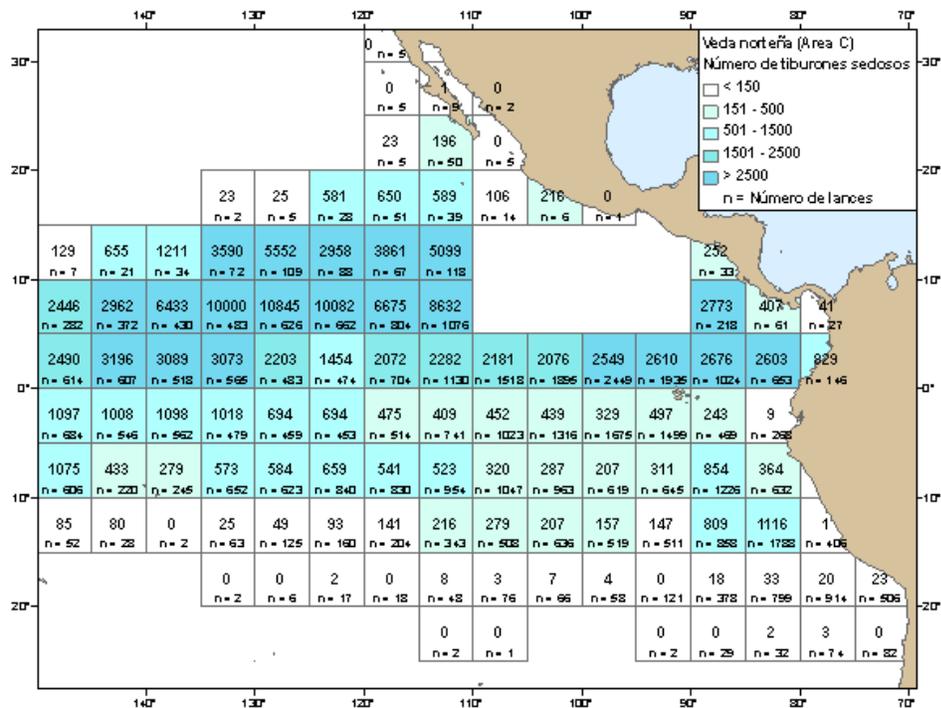


Figura 21. Redistribución del número de lances con la captura resultante de tiburones sedosos durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña C.

La captura del tiburón sedoso en la PARC-OF en las condiciones existentes durante el periodo 2005 - 2012 fue de 166,790 individuos (Tabla 4). Al comparar la captura resultante de la redistribución del esfuerzo pesquero en los diferentes escenarios de veda con respecto a las condiciones existentes (Tabla 4), resultó que con la veda norteña, la captura resultante fue de 87,057 individuos, lo que significó una variación de -47.8%; con la veda sureña, la captura fue de 182,366 individuos, con una variación de +9.34%; con la veda norteña A, la captura fue de 142,438 individuos, con una variación de -14.6% ; con la veda norteña B, la captura fue de 119,708 individuos, con una variación de -28.23% y con la veda norteña C, la captura fue de 141,396 individuos, con una variación de -15.23%.

Tabla 4. Captura total y variación porcentual de la captura resultante del tiburón sedoso en cada uno de los escenarios de veda con respecto a las condiciones existentes

	<b>Captura total de tiburón sedoso</b>	<b>Variación (%)</b>
<b>Condiciones existentes</b>	166,790	-
<b>Veda norteña</b>	87,057	-47.80
<b>Veda sureña</b>	182,366	9.34
<b>Veda norteña A</b>	142,438	-14.60
<b>Veda norteña B</b>	119,708	-28.23
<b>Veda norteña C</b>	141,396	-15.23

La figura 22 muestra la captura (ton. métricas) combinada de las 3 especies de atún capturadas mayormente en esta pesquería, atún aleta amarilla (AA), atún barrilete (BA) y atún patudo (OG), durante el periodo 2005 - 2012. Las Figuras 23 - 27 muestran cómo esta captura varía con respecto a la redistribución del esfuerzo como resultado de una implementación hipotética de los escenarios de veda.

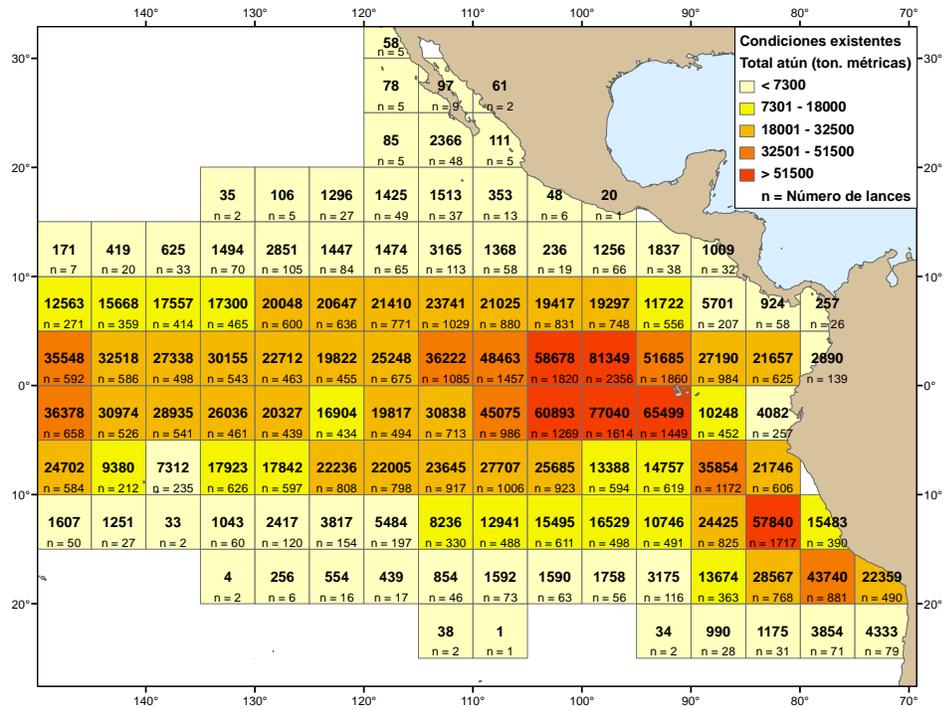


Figura 22. Número de lances y captura total de atún (AA, BA y OG) de acuerdo a las condiciones existentes, durante el periodo 2005 - 2012

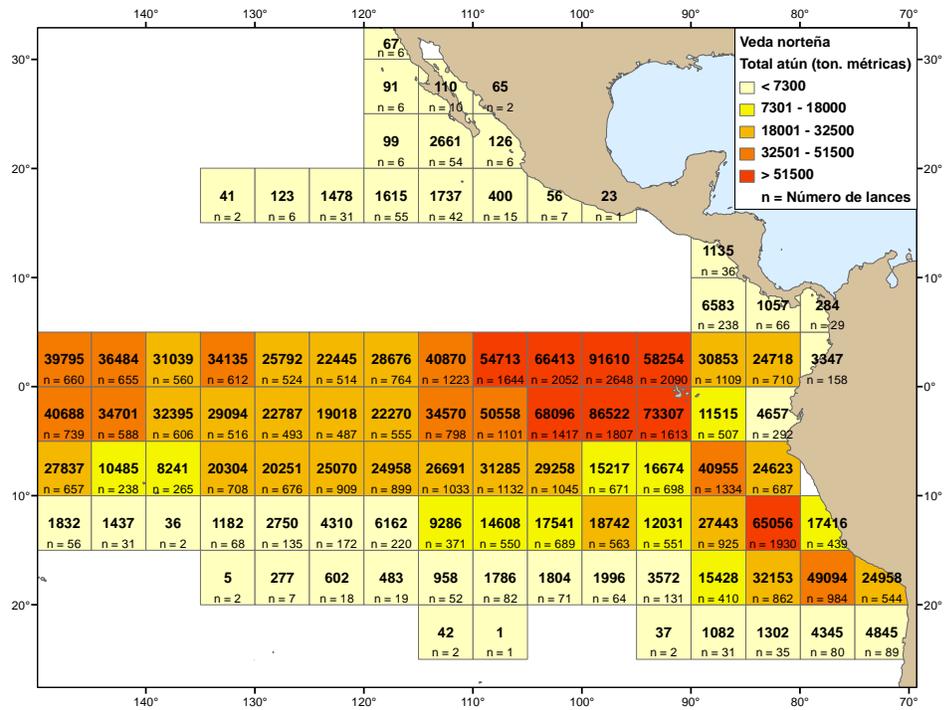


Figura 23. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña.

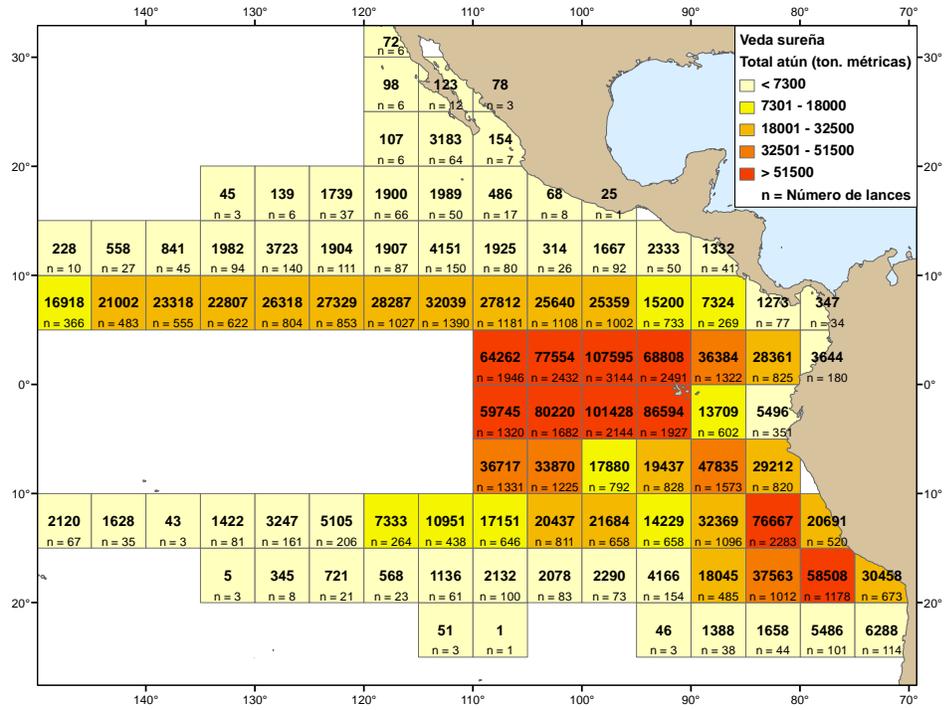


Figura 24. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda sureña.

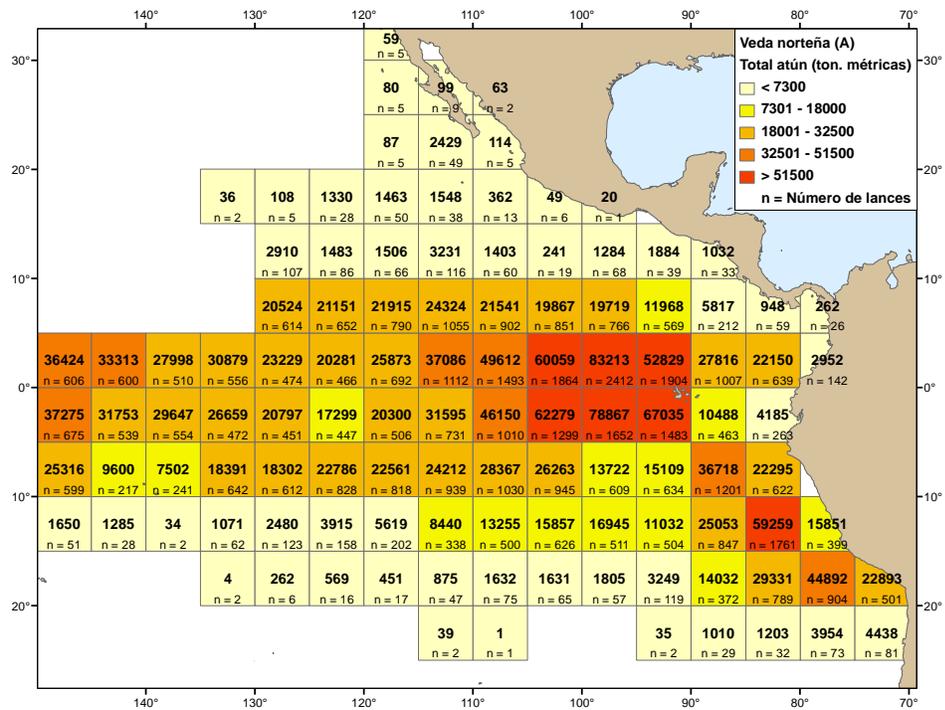


Figura 25. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña A.

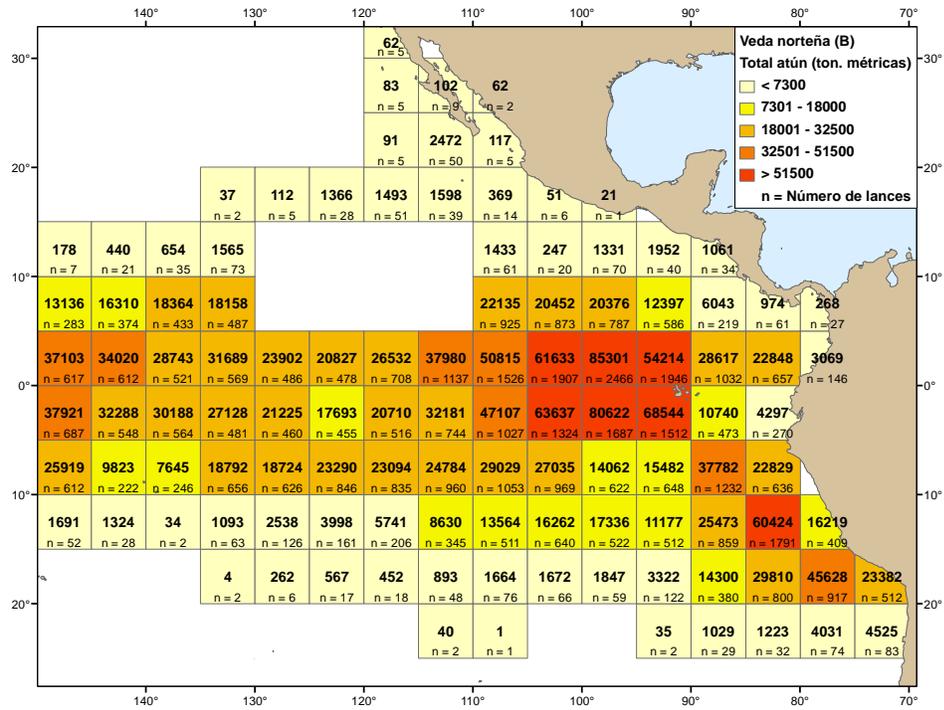


Figura 26. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña B.

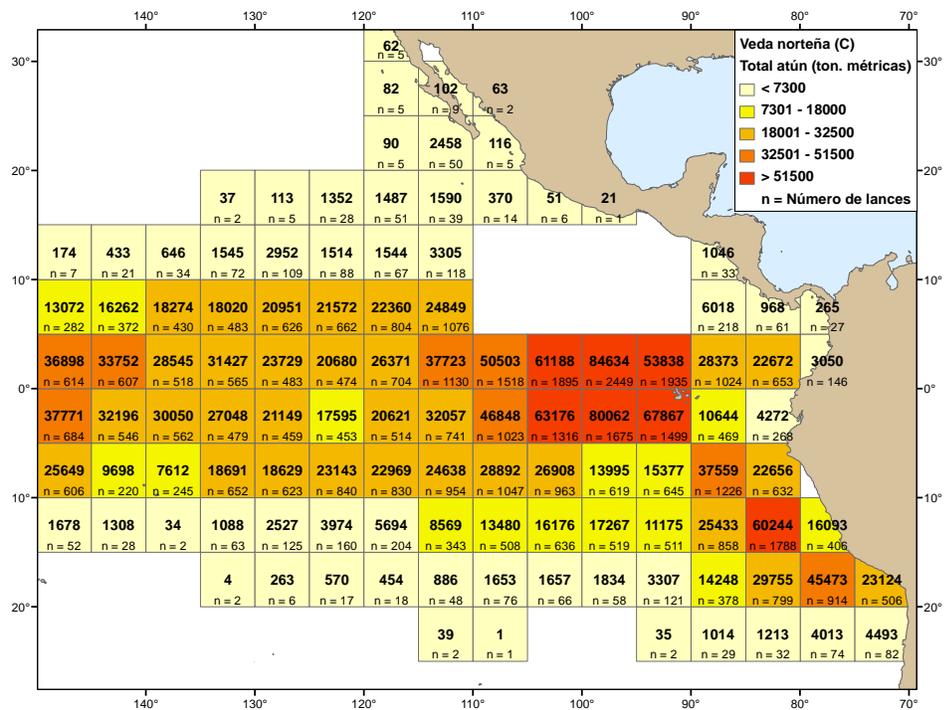
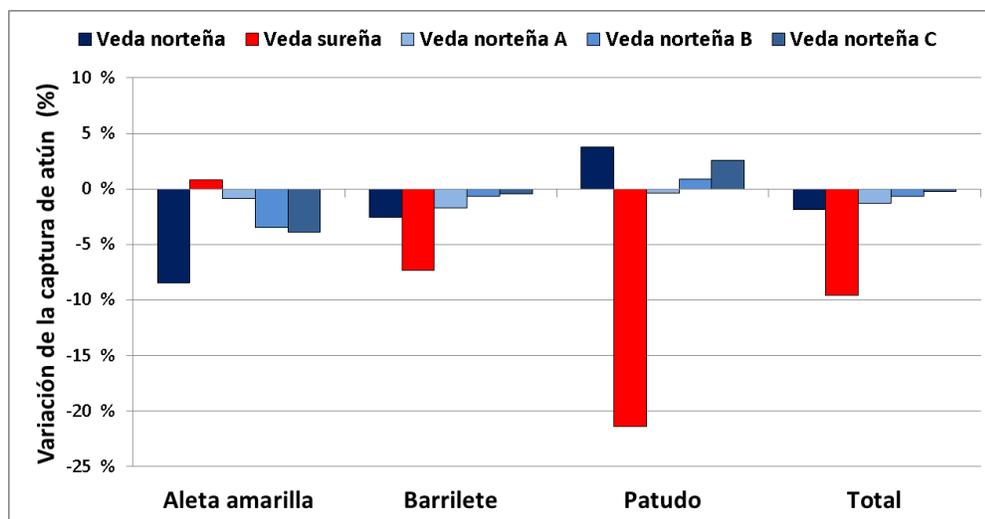


Figura 27. Redistribución del número de lances con la captura resultante de atún (AA, BA y OG) durante el periodo 2005 - 2012 debido a la veda norteña C.

La captura del atún aleta amarilla presentó una variación de -8.42% con la implementación de la veda norteña, comparada con las condiciones existentes, y una variación de +0.82% con la implementación de la veda sureña comparada con las condiciones existentes. Se observa un decremento progresivo en las variaciones de las capturas comparadas con las condiciones existentes entre las vedas norteñas A, B y C, con un intervalo entre -0.85% y -3.89% (Figura 28).



**Figura 28. Variación porcentual de la captura de atún aleta amarilla, barrilete y patudo de cada uno de los escenarios de veda con respecto a las condiciones existentes.**

Con la implementación de la veda norteña, la variación de la captura del atún barrilete fue de -2.57%, comparada con las condiciones existentes. Con la implementación de la veda sureña presentó una variación de -7.35% comparada con las condiciones existentes. Se observa un progresivo incremento en las variaciones de las capturas comparadas a las condiciones existentes entre las vedas norteñas A, B y C, con un intervalo entre -1.69% y -0.45% (Figura 28). El atún patudo presentó una variación en su captura de +3.79% con la implementación de la veda norteña comparada con las condiciones existentes, y una variación de -21.37% con la implementación de la veda sureña comparada a las condiciones existentes. Como en la especie anterior, esta especie también mostró un incremento progresivo en las variaciones de las capturas comparadas a las condiciones existentes entre las vedas norteñas A, B y C, con un intervalo entre -0.36% y +2.56% (Figura 28). Combinando las tres especies, con la

implementación de la veda norteña se observó una variación en la captura total de atún de -1.84% comparada con las condiciones existentes. Con la implementación de la veda sureña se presentó una variación de -9.59% comparada a las condiciones existentes. Se observó un incremento progresivo en las variaciones de la captura total de atún comparada con las condiciones existentes entre las vedas norteñas A, B y C, con un intervalo entre -1.26% y -0.20% (Figura 28).

## **5.2. Análisis demográficos**

### **5.2.1. Supervivencia**

#### **5.2.1.1. Estimación de la mortalidad natural ( $M$ )**

Usando los métodos indirectos de estimación, se obtuvo un intervalo de valores de mortalidad natural entre 0.16 y 0.65. El valor más bajo de mortalidad natural fue 0.16, encontrado mediante el uso del método de Hoenig (1983), para todas las edades. El valor más alto fue 0.65, encontrado mediante el método de Chen y Watanabe (1993) para la edad 0 (Tabla 5).

#### **5.2.1.2. Mortalidad por pesca ( $F$ )**

##### **5.2.1.2.1. Estructura de las tallas y edades de captura**

La captura incidental de tiburones sedosos hembra de acuerdo a las condiciones existentes, así como la captura resultante en las áreas abiertas debido a la implementación de las vedas hipotéticas tuvo un intervalo de 50 a 322 cm de longitud total. Luego de convertir las longitudes a edades, el intervalo fue de 0 a 25 años, con un grupo de edad “plus” que incluye a todas las edades iguales o mayores a 26 años. En las condiciones existentes, las hembras menores a un año son capturadas en mayor proporción (Figura 29) y esta proporción decrece progresivamente con la edad. Una reducción significativa del número de tiburones sedosos hembra de edades entre 0 y 4 años capturados en la PARC-OF ocurrió con la implementación hipotética de la veda norteña en comparación con las condiciones existentes (Figura 30). Con la implementación de la veda sureña la composición de la captura resultante de las hembras es similar a la de las condiciones existentes, pero se observó un incremento en el número de hembras capturadas menores a dos años (Figura 31). La composición de la captura

resultante de las hembras en las vedas norteñas A, B y C es similar a la de las condiciones existentes, aunque en cantidades menores (Figuras 32-34). Sin embargo, la veda norteña B presenta una menor proporción de captura de hembras de edad 0 en comparación con las vedas norteñas A y C (Figura 33).

Tabla 5. Estimaciones de la mortalidad natural de acuerdo a los siguientes métodos indirectos: Frisk et al., 2005; p. 29; y según ecuaciones de Jensen (1996), Peterson y Wroblewski (1984) y Hoenig (1983).

Edad (años)	Jensen			Frisk	Hoenig			Chen y Watanabe	Peterson y Wroblewski
	$t_{mat}$ 6	$t_{mat}$ 7	$k$		$t_{max}$ 25	$t_{max}$ 26	$t_{max}$ 20		
0	0.28	0.24	0.24	0.45	0.19	0.16	0.21	0.65	0.43
1	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.44	0.33
2	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.35	0.28
3	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.29	0.25
4	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.26	0.22
5	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.23	0.21
6	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.22	0.20
7	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.20	0.19
8	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.19	0.18
9	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.19	0.18
10	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.18	0.17
11	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.17
12	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.17
13	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
14	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
15	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
16	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
17	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
18	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.17	0.16
19	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.18	0.16
20	0.28	0.24	0.24	0.18	0.19	0.16	0.21	0.18	0.16

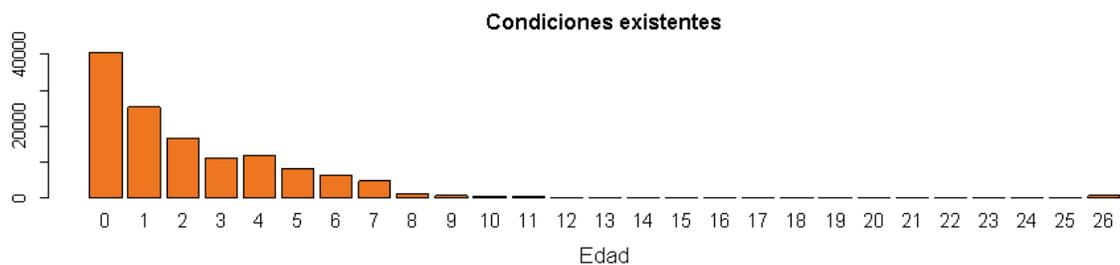
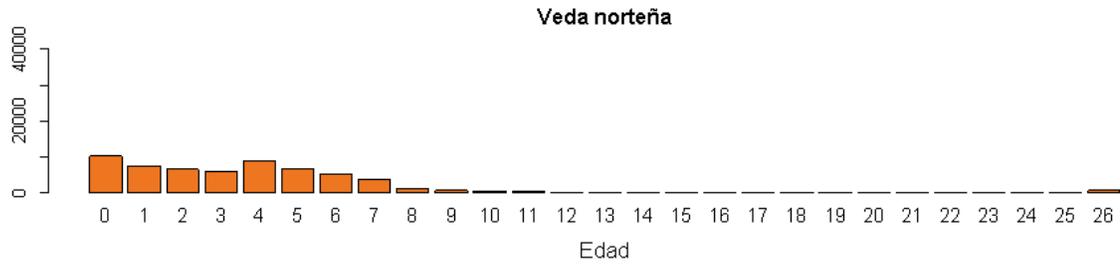
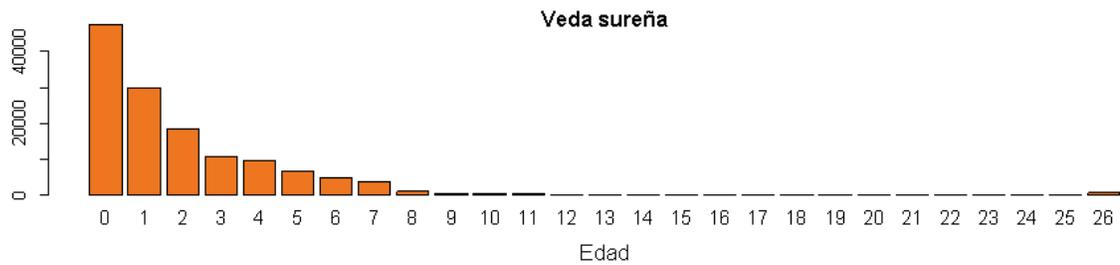


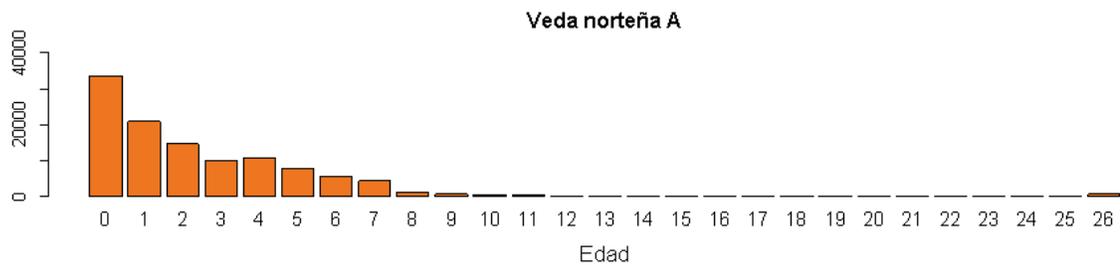
Figura 29. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en las condiciones existentes.



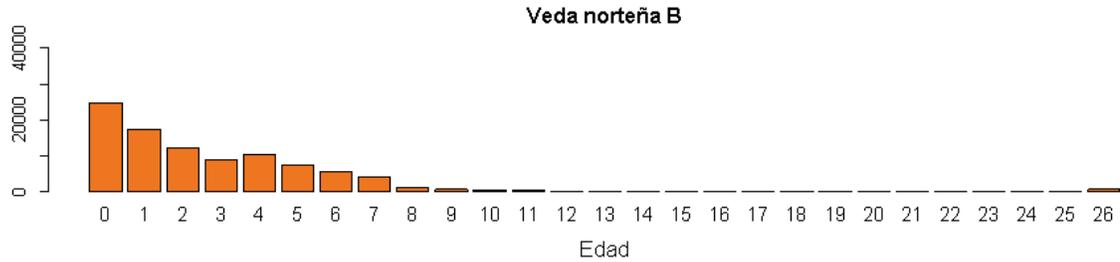
**Figura 30. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña.**



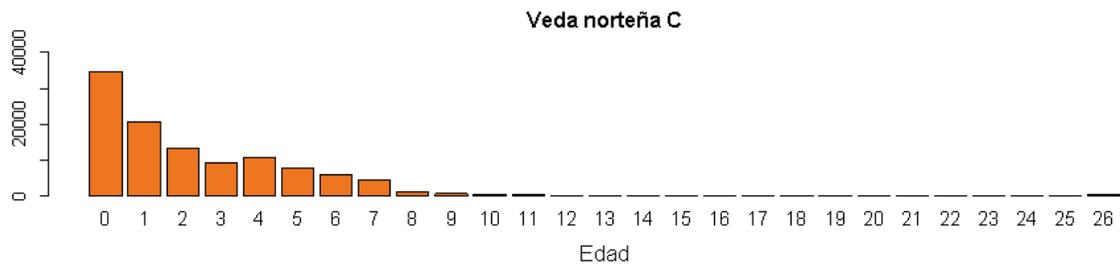
**Figura 31. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda sureña.**



**Figura 32. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña A.**



**Figura 33. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña B.**

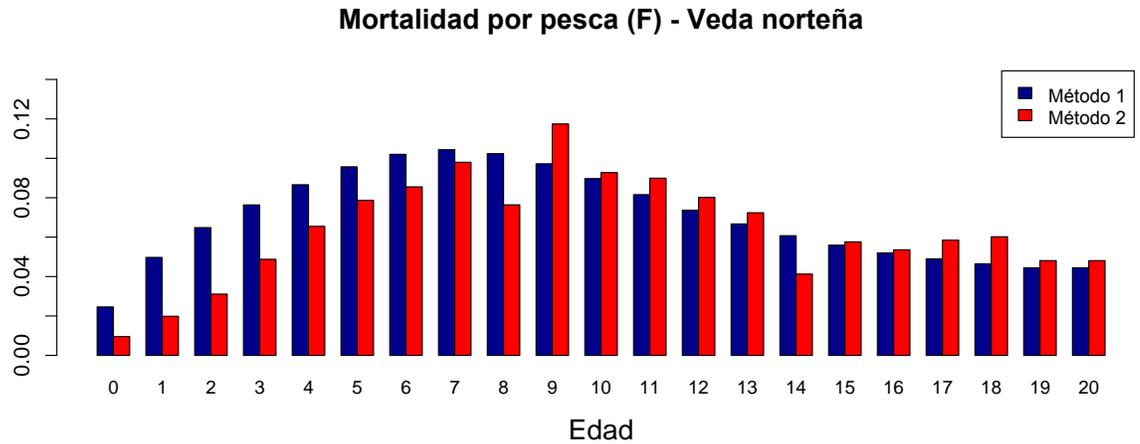


**Figura 34. Número de tiburones sedosos hembra capturado de acuerdo a la edad en el periodo 2005 - 2012 en la veda norteña C.**

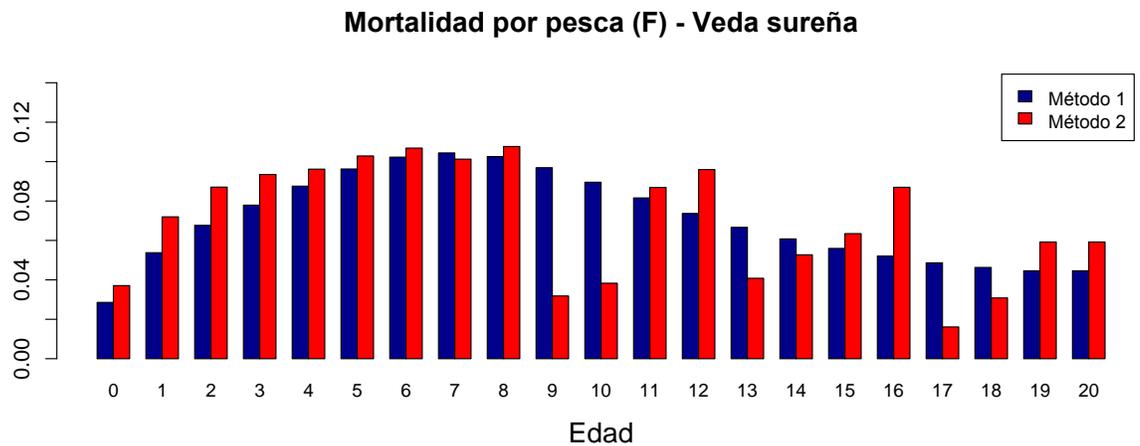
#### 5.2.1.2.2. Estimación de la mortalidad por pesca ( $F$ )

Los valores de  $F$  obtenidos mediante el método 1 de redistribución del esfuerzo pesquero aplicado solamente a la PARC-OF tuvieron un intervalo de 0.025 a 0.104, ambos valores bajo el escenario de la veda norteña, para las edades de 0 y 7 años, respectivamente; y los valores de  $F$  obtenidos mediante el método 2 de redistribución del esfuerzo pesquero aplicado a todas las pesquerías tuvieron un intervalo de 0.01 a 0.117, ambos valores bajo el escenario de la veda norteña, para las edades de 0 y 9 años, respectivamente. Con el método 1 los valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) para edades de 0 a 8 años bajo la veda norteña son superiores a los valores de  $F$  de acuerdo al método 2 (Figura 35). De 9 a 13 años esta tendencia se invierte, y de 14 a 20 años adopta la tendencia inicial. Con la veda sureña, con el método 1 los valores de  $F$  para edades de 0 a 6, 8, 11, 12, 15, 16, 19 y 20 años son menores a los valores de  $F$  calculados con el método 2 (Figura 36). En la veda norteña A, con el método 1, los valores de  $F$  para edades de 0 a 8 años son mayores que con el método 2, y de 9 a 20 años esta tendencia

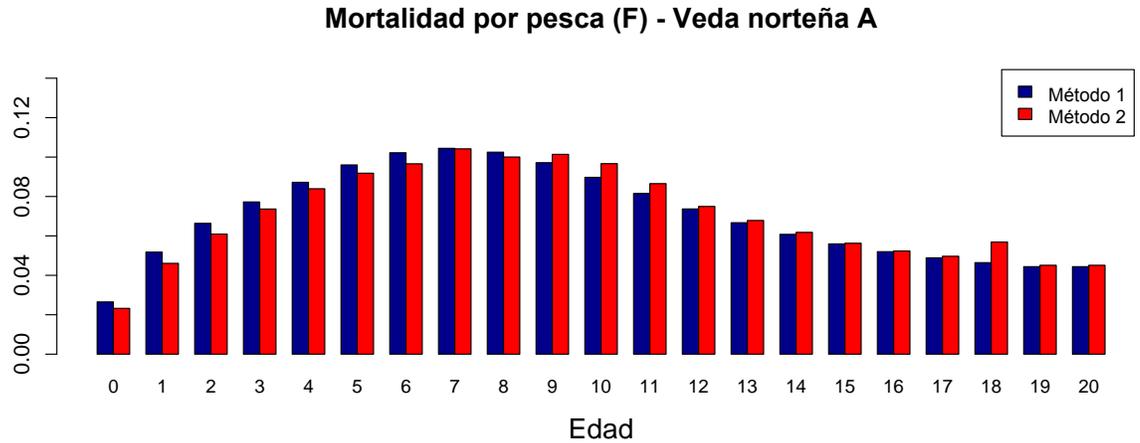
se invierte (Figura 37). Se presentan tendencias similares en la veda norteña B (Figura 38) y C (Figura 39), con la excepción en esta última de la edad 14, en donde el valor de  $F$  es muy superior con el método 1.



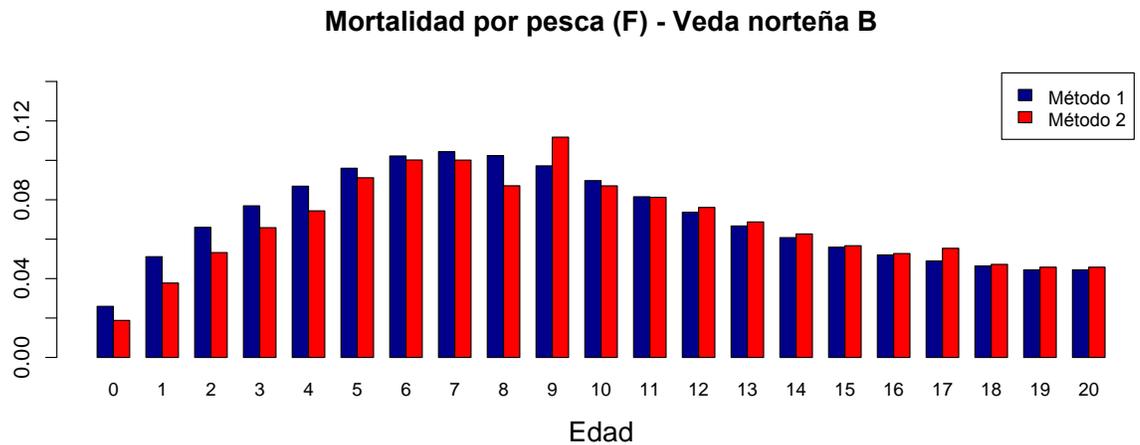
**Figura 35. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña.**



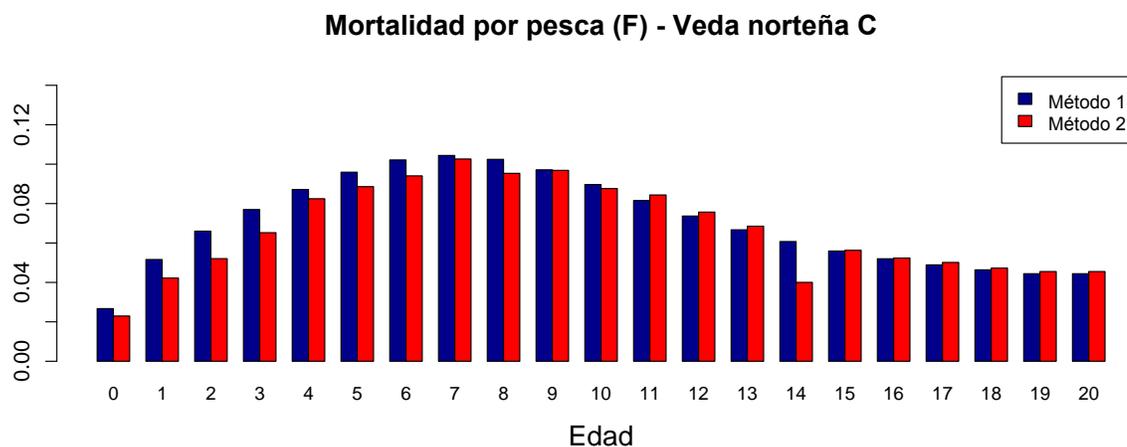
**Figura 36. Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda sureña.**



**Figura 37.** Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña A.



**Figura 38.** Valores de mortalidad por pesca ( $F$ ) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña B.

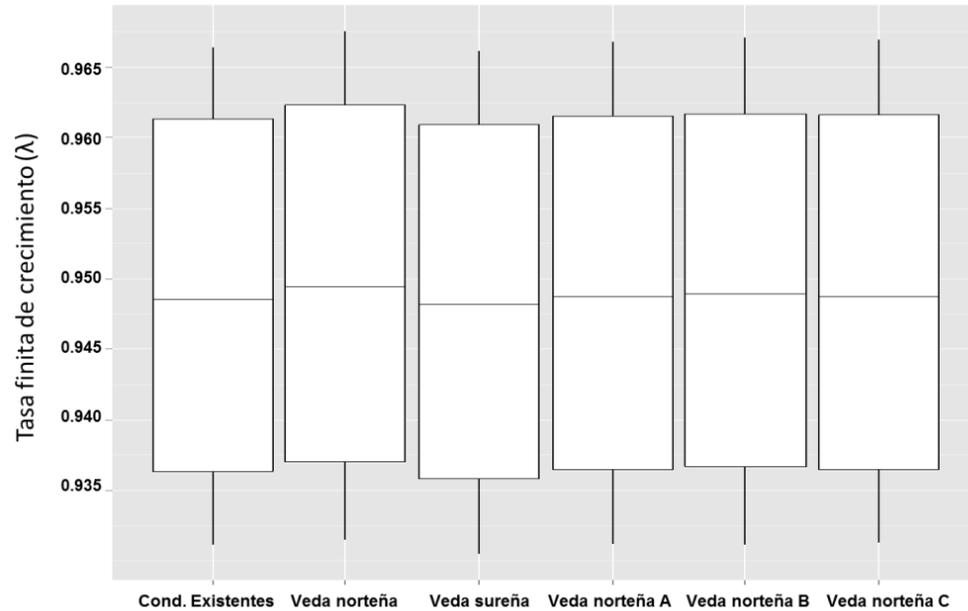


**Figura 39. Valores de mortalidad por pesca (F) por edad de las hembras del tiburón sedoso de acuerdo al método 1 y 2 de redistribución del esfuerzo pesquero con la implementación de la veda norteña C.**

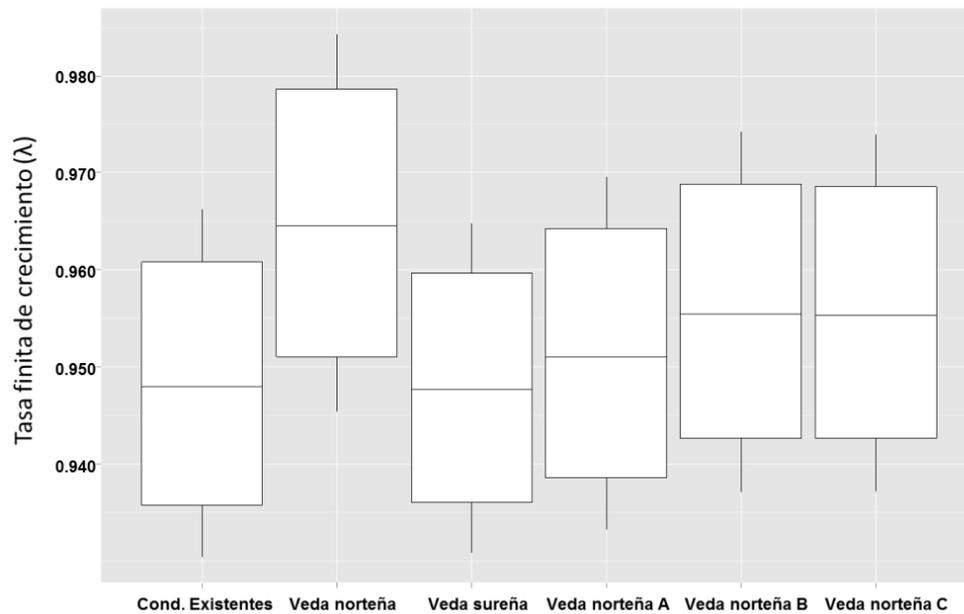
### 5.2.2. Tasa finita de crecimiento

Bajo las condiciones existentes, los valores obtenidos de la tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ ) tuvieron un intervalo de 0.9363 a 0.9613, con una media de 0.9487 (Figuras 40 - 41). Bajo los escenarios de veda y mediante el método 1 de redistribución del esfuerzo pesquero aplicado a la PARC-OF, los valores de  $\lambda$  tuvieron un intervalo de 0.9359 a 0.9623, encontrados en la veda sureña y norteña, respectivamente; mediante el método 2 de redistribución aplicado a todas las pesquerías, los valores de  $\lambda$  tuvieron un intervalo de 0.9355 a 0.9782, encontrados en la veda sureña y norteña, respectivamente (Tabla 6). El valor promedio más alto (0.9644) y más bajo (0.9472) de  $\lambda$  fueron encontrados mediante el método de redistribución 2, en la veda norteña y sureña respectivamente (Figura 41, Tabla 6).

El mayor incremento de  $\lambda$  encontrado en un área de veda con respecto a las condiciones existentes fue de 1.66% en la veda norteña, calculada con el método de redistribución 2. El único decremento de  $\lambda$  con respecto a las condiciones existentes fue encontrado en la veda sureña, con valores de -0.04% y -0.16%, calculados de acuerdo a los métodos de redistribución 1 y 2 respectivamente (Tabla 6). La diferencia de las tasas finitas de crecimiento tuvo un promedio de 0.03 entre el percentil 2.5 y 97.5, tanto en el método 1 como en el método 2. (Figura 40 y 41, Tabla 6).



**Figura 40.** Distribución de los valores de  $\lambda$  para el tiburón sedoso en el OPO, de acuerdo a las condiciones existentes, por escenario de veda, calculadas con el método 1 de redistribución del esfuerzo pesquero.



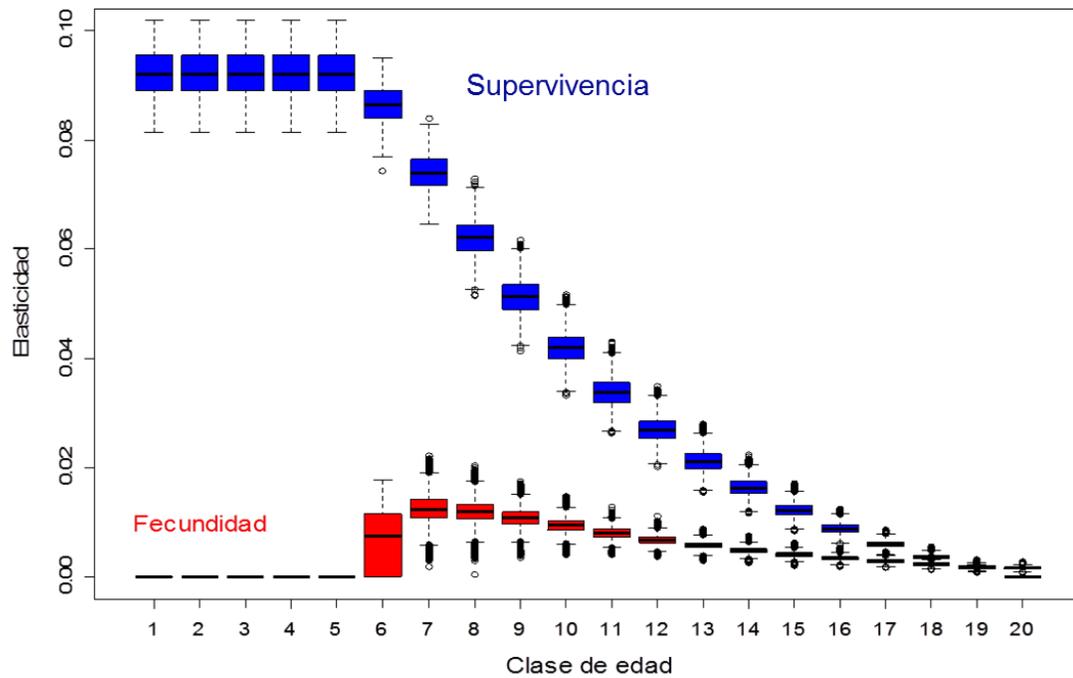
**Figura 41.** Distribución de los valores de  $\lambda$  para el tiburón sedoso en el OPO, de acuerdo a las condiciones existentes, por escenario de veda, y calculadas con el método 2 de redistribución del esfuerzo pesquero.

Tabla 6. Datos estadísticos de  $\lambda$  para el tiburón sedoso calculados con la captura de todas las pesquerías de acuerdo a las aproximaciones del método de redistribución 1 y 2.

	Método 1 ( $C_{age\_1}$ )				Método 2 ( $C_{age\_2}$ )			
	$\lambda$ (Media)	Variación $\lambda$ vs. cond. existentes (%)	Rango de $\lambda$ 95%		$\lambda$ (Media)	Variación $\lambda$ vs. cond. existentes (%)	Rango de $\lambda$ 95%	
			Percentil 2.5	Percentil 97.5			Percentil 2.5	Percentil 97.5
Veda norteña	0.9496	0.094	0.9370	0.9623	0.9644	1.658	0.9507	0.9782
Veda sureña	0.9483	-0.038	0.9359	0.9610	0.9472	-0.155	0.9355	0.9591
Veda norteña A	0.9489	0.021	0.9365	0.9616	0.9508	0.225	0.9381	0.9638
Veda norteña B	0.9491	0.044	0.9366	0.9617	0.9552	0.682	0.9423	0.9683
Veda norteña C	0.9489	0.024	0.9365	0.9616	0.9551	0.673	0.9423	0.9680

### 5.2.3. Elasticidad

La Figura 42 muestra los análisis de elasticidad de acuerdo a las simulaciones de Monte Carlo. No se observa una variación significativa en las proporciones de elasticidad obtenidas aleatoriamente para cada edad. Las proporciones de elasticidad tuvieron los valores más altos en la supervivencia de los juveniles, seguido de los valores para la supervivencia de los adultos y finalmente para los valores de elasticidad de la fecundidad de los adultos. Las proporciones de elasticidad en cada una de las simulaciones sumaron 1. Sin embargo, debido a que las proporciones resultantes de la simulación fueron promediadas, la suma de éstas fue muy cercana a 1. Debido a que se calcularon las elasticidades de acuerdo a dos edades de madurez (6 y 7 años), las proporciones promedio de elasticidad de acuerdo a una madurez de 6 años dieron como resultado 0.55 para la supervivencia de juveniles, 0.36 para la supervivencia de los adultos y 0.09 para la fecundidad. De acuerdo a una madurez de 7 años, las proporciones de elasticidad promedio dieron como resultado 0.62 para la supervivencia, 0.29 para la supervivencia de los adultos y 0.07 para la fecundidad (Tabla 7).



**Figura 42. Proporción de las elasticidades promedio de las tasas vitales de supervivencia y fecundidad de las clases de edades del tiburón sedoso.**

Tabla 7. Promedio de las proporciones de elasticidad del tiburón sedoso, obtenidas aleatoriamente mediante simulaciones de Monte Carlo, de acuerdo a dos valores de edad de madurez: 6 y 7 años.

	Supervivencia		Fecundidad
	Juveniles	Adultos	
<b>Edad de madurez a los 6 años</b>	0.55	0.36	0.09
<b>Edad de madurez a los 7 años</b>	0.62	0.29	0.07

## 6. Discusión

---

Este estudio presenta una nueva metodología para el establecimiento de escenarios de veda a la captura incidental del tiburón sedoso en el OPO realizada por la PARC-OF. La base principal de esta nueva aproximación es especificar regiones geográficas en donde las características de los organismos capturados podrían influir en la dinámica poblacional del tiburón sedoso. Esto permite establecer escenarios con base en la selección de varias áreas geográficas, para que de esta manera se pueda evaluar el estado demográfico de la población en cada uno de estos escenarios. Los escenarios identificados (zonas geográficas de veda) se caracterizaron por presentar una elevada abundancia relativa de tiburones sedosos, en su mayoría juveniles, y por presentar una elevada abundancia relativa de hembras maduras.

En cuanto a la biología del tiburón sedoso, uno de los parámetros de historias de vida que presentó un elevado nivel de incertidumbre fue el de supervivencia, en donde la estimación de las tasas de mortalidad natural fue obtenida mediante un conjunto de 5 métodos indirectos, cuyos resultados mostraron heterogeneidad. Para evitar en lo posible el uso de tasas de mortalidad natural improbables se realizó una simulación de Monte Carlo. Este análisis estocástico permitió obtener valores aleatorios de la tasa de mortalidad natural por edad basados en una función de distribución de probabilidad triangular de todos los métodos indirectos, en donde el promedio de las tasas obtenidas era el valor de máxima probabilidad y con los valores extremos de esta distribución teniendo una probabilidad mínima. Este método estocástico se ha empleado para modelar la demografía del tiburón sedoso y otras especies de tiburones. Cortés (2002) empleó una simulación de Monte Carlo para 38 especies de tiburones incluyendo tiburones sedosos, y en algunos casos utilizó la función de distribución de probabilidad triangular. Sin embargo, éste dio más prioridad al método de Peterson y Wroblewsky (1984) debido a que este método no se basa en parámetros estimados, sino en coeficientes obtenidos empíricamente. Aires-da-Silva y Gallucci (2007) también representaron la incertidumbre de la tasa de mortalidad natural mediante una

función de distribución de probabilidad triangular para el tiburón azul (*Prionace glauca*) en el Océano Atlántico Norte, y mediante análisis estocásticos obtuvieron estimaciones de las tasas basadas en los 5 métodos indirectos empleados en este estudio.

### **6.1. Redistribución del esfuerzo**

Al establecer una veda geográfica hipotética, el esfuerzo redistribuido tuvo que ser modelado. En este estudio se modeló la redistribución del esfuerzo pesquero proporcionalmente, tomando en consideración su distribución histórica. Nuestros resultados indican una variación significativa en las capturas resultantes de la redistribución del esfuerzo pesquero para cada escenario de veda. Con la implementación de la veda norteña, y considerando el efecto de la redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF, se observó una marcada disminución de la captura de tiburones sedosos con respecto a la captura en las condiciones existentes, muchos de ellos juveniles. Esto se debió principalmente a que el esfuerzo pesquero se redistribuyó en áreas donde históricamente se ha reportado una menor abundancia relativa de esta especie. Sin embargo, con la implementación de la veda sureña y considerando el efecto de la redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF se observó un aumento notable en las capturas de tiburones sedosos con respecto a las condiciones existentes, debido especialmente a que el esfuerzo pesquero se redistribuyó en áreas donde históricamente se ha reportado una mayor abundancia relativa de esta especie. Dentro de las tres sub-áreas de veda norteña, la veda norteña B resultó en la menor captura resultante de tiburones sedosos con respecto a la de las condiciones existentes, lo cual indica que esta área ha reportado una mayor abundancia relativa de tiburones sedosos, comparada con las vedas norteñas A y C.

El método de redistribución desarrollado en este estudio también ha sido aplicado en otros estudios en el OPO utilizando los mismo parámetros de redistribución (Watson et al., 2009; Harley y Suter, 2007). Sin embargo, Tidd et al. (2012) utilizaron otros parámetros, principalmente económicos, para establecer las condicionantes consideradas en la modelación de la redistribución del esfuerzo

debido a la implementación de una veda en el Mar del Norte en el año 2001, como el precio del combustible, el precio del producto, la proximidad a los puertos de descarga, las tasas de ganancias, etc. Sin embargo, las regiones de veda que ellos evaluaron estaban asociadas más a regiones costeras, donde se opera con embarcaciones de menor capacidad y con viajes de corta duración, y donde la magnitud de estos parámetros considerados pudiera tener un mayor impacto en el modelo.

En otro estudio efectuado sobre la veda mencionada previamente, Poos y Rijnsdorp (2007) concluyeron que el conocimiento previo de la pesquería en las áreas abiertas juega un papel fundamental en la redistribución del esfuerzo debido a una veda, donde los barcos con poca experiencia en las áreas abiertas están propensos a suspender sus actividades pesqueras, resultando en una disminución del esfuerzo pesquero. Este resultado contrasta con los de nuestros análisis, en donde el esfuerzo pesquero no disminuyó sino que fue proporcionalmente redistribuido a las áreas abiertas, debido a que no se consideró la ausencia de una embarcación por la implementación de una veda, motivada por el escaso nivel de experiencia previa del pescador en las áreas que no fueron afectadas por la veda.

## **6.2. Efectos de las zonas de veda en la demografía**

La selección de las áreas de veda en el OPO, las cuales se basaron principalmente en una elevada abundancia relativa de tiburones sedosos en su mayoría juveniles en el norte del ecuador, y en una elevada abundancia relativa de hembras maduras en el sur, indicaron una marcada diferencia en su impacto en la dinámica poblacional de esta especie, creando el contraste necesario para establecer comparaciones en los análisis demográficos. La identificación de áreas con una mayor probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos por lance en la PARC-OF ubicadas al norte del ecuador, corroboró la diferenciación espacial de su densidad poblacional, mostrada históricamente en la captura incidental del tiburón sedoso en la PARC-OF. Se sugiere además que esta diferenciación es altamente significativa, debido a que el promedio de la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos dentro de las áreas identificadas fue mucho mayor al valor

promedio de la probabilidad de capturar 20 o más tiburones sedosos, encontrado afuera de éstas.

Sin embargo, en el segundo escenario el promedio de la probabilidad de capturar al menos 3 hembras maduras dentro del área seleccionada fue menor al promedio de dicha probabilidad encontrada afuera de ésta. Esto podría sugerir la omisión de áreas que presentaron una mayor probabilidad. La razón por la que no se incluyeron se debió a que estas áreas presentaron números de lances con un promedio inferior ( $\bar{x} = 92$ ) a los que presentaron las áreas seleccionadas ( $\bar{x} = 169$ ).

No fue posible encontrar información sobre la distribución espacial del tiburón sedoso capturado en la PARC-OF en otros océanos con el fin de establecer si esta diferenciación espacial es a nivel global. No obstante, una información puntual da cuenta de una zona, afuera de la costa oriental de África, en las coordenadas 12°N y 60°E, reportada como de alta captura incidental de tiburones sedosos juveniles en la PARC-OF en el Océano Índico occidental (Amandè et al., 2011), lo cual podría indicar que también existen regiones con alta concentración de juveniles al norte del ecuador en otros océanos.

Los análisis demográficos desarrollados mediante simulaciones de Monte Carlo mostraron un valor de la tasa finita de crecimiento de  $\lambda = 0.9487$  bajo las condiciones existentes. Lo cual indica que la población del tiburón sedoso se encuentra por debajo de sus niveles de estabilidad poblacional ( $\lambda = 1$ ). Este resultado sugiere que esta población experimentará una tendencia de decremento si se mantienen los niveles actuales de captura de las pesquerías que operan en el OPO. Este resultado contrasta significativamente con el valor de  $\lambda$  encontrado en las poblaciones del noroeste y sur del Golfo de México, donde el valor de  $\lambda$  fue de 1.108 y 1.057 respectivamente (Cortés, 2002). Probablemente esta diferencia pudiera ser explicada si se encontrara que el valor de  $\lambda$  para la población del tiburón sedoso en el OPO alrededor del año 2002, era similar a los hallados por Cortés (2002). O posiblemente el valor de  $\lambda$  aquí obtenido fue subestimado debido al limitado conocimiento del estado de la población por estructura de edades, considerando todas las pesquerías en el OPO.

Los análisis de elasticidad en la población del tiburón sedoso mostraron una fuerte dependencia de  $\lambda$  con respecto a la supervivencia de los juveniles. Por lo que era de esperarse que las áreas de veda, con una elevada abundancia relativa de tiburones sedosos juveniles (las áreas norteñas) resultaran en valores de  $\lambda$  mayores que la veda sureña. Cortés (2002) estimó para el tiburón sedoso en el noroeste del Golfo de México una tasa media de elasticidad de 0.644, 0.270 y 0.086 para la supervivencia de los juveniles, la supervivencia de los adultos y la fecundidad, respectivamente. En el área del sur del Golfo de México, Cortés (2002) estimó una tasa media de elasticidad de 0.673, 0.268 y 0.059 para la supervivencia de los juveniles, la supervivencia de los adultos y la fecundidad respectivamente. Los valores de elasticidad del presente trabajo con una edad de madurez del tiburón sedoso a los 7 años de edad están más cercanos a los datos encontrados por Cortés (2002) para los tiburones sedosos del noroeste del Golfo de México.

En cuanto a los valores de  $\lambda$  de acuerdo a los escenarios de veda, se encontró que el efecto más positivo en la población del tiburón sedoso fue con la veda norteña de acuerdo al método 2 de redistribución del esfuerzo aplicado a todas las pesquerías, y seguida por la veda norteña B. En contraste, los valores más bajos de  $\lambda$  fueron encontrados en las vedas sureñas con los dos métodos de redistribución del esfuerzo pesquero. Esto sustentó la hipótesis de que ocurriría un efecto diferente en la demografía del tiburón sedoso dependiendo de la localización geográfica de la veda. Así mismo, el alto valor de  $\lambda$  en las vedas norteña y norteña B corroboró lo que sugieren los resultados de los análisis de elasticidad, ya que reportaron una disminución significativa de la captura resultante de tiburones juveniles, en consecuencia, elevaría su supervivencia. Estos resultados demostraron que es plausible la hipótesis de que el establecimiento de vedas espaciales permitirá evaluar los efectos de esta medida de manejo en el crecimiento del tiburón sedoso. No obstante, el valor de  $\lambda$  encontrado en la veda norteña de acuerdo al método 2 (0.9644) tampoco fue suficiente para elevar el valor de  $\lambda$  sobre los niveles de estabilidad ( $\lambda = 1$ ). Esto sugiere que a) las otras pesquerías, a pesar de esta veda, todavía pudieran seguir capturando tiburones sedosos juveniles en las áreas abiertas (áreas costeras por ejemplo) que impidan un incremento sustancial de  $\lambda$ ; o b) que el decremento de la población es reversible, pero no a corto plazo. En este

caso, se sugiere desarrollar un análisis de proyección de poblaciones para predecir un periodo de recuperación.

Los análisis de estructura por edad del tiburón sedoso en la PARC-OF, tanto en las condiciones existentes como en los escenarios de veda, mostraron una edad máxima de las hembras de hasta 25 años, con una edad “plus” que incluye a todas las edades iguales o mayores a 26 años. Los resultados contrastaron con los estudios efectuados en regiones costeras del OPO como Baja California Sur, donde se encontró una edad máxima de 16 años (Sánchez de Ita, 2004). En el Océano Atlántico, Bonfil et al. (1993) encontraron una edad máxima de 22 años en el área del Banco de Campeche.

En vista de la gran proporción de la captura del tiburón sedoso que las otras pesquerías representan, en comparación con la PARC-OF, se modeló su demografía de acuerdo al estado actual de su población, considerando todas las pesquerías, ya que éstas pudieran capturar tiburones sedosos con una estructura de edades diferente a la de la PARC-OF, y en consecuencia, alterar sustancialmente los resultados de los análisis demográficos. Los análisis corroboraron que existió una marcada diferencia en las estructuras de edades entre las dos pesquerías, inferidas al considerar: a) la composición por edad de las hembras capturadas por la PARC-OF, y b) la mortalidad por pesca ( $F$ ) para cada una de las edades de las hembras del tiburón sedoso de todas las pesquerías. Mientras que en (a) las edades dominantes son las tempranas (entre 0 y 4 años), en (b) las edades dominantes son aproximadamente entre 6 y 8 años. No obstante, esta metodología para la modelación de la demografía del tiburón sedoso, una de las limitantes de este estudio fue modelar la redistribución proporcional del esfuerzo de todas las pesquerías de acuerdo a los niveles históricos de captura de la PARC-OF, lo cual se debió a la escasa información disponible sobre su dinámica y magnitud pesquera en el OPO. En tal virtud, es aconsejable que en estudios futuros se realicen simulaciones de redistribución para todas las pesquerías incluyendo parámetros que reflejen su dinámica pesquera.

Por último, los resultados mostraron una variación entre la  $\lambda$  de cada escenario de veda y la de las condiciones existentes. Esta variación fue más marcada con el

método 2 de redistribución del esfuerzo de todas las pesquerías en comparación con el método 1 de redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF. Esto indica, de acuerdo a los datos analizados, que el efecto de la captura incidental del tiburón sedoso realizada por la PARC-OF no es tan significativo como se ha estimado, ya que a pesar de presentar marcadas variaciones entre la captura resultante del tiburón sedoso para cada escenario de veda y las condiciones existentes, éstas no han sido suficientes para variar significativamente el valor de  $\lambda$ . La mayor variación que existe en el método 2 entre las  $\lambda$  de cada escenario de veda y la de las condiciones existentes refleja la gran influencia que tienen las capturas de tiburones sedosos de todas las pesquerías en el crecimiento de la población del tiburón sedoso en el OPO.

### **6.3. Efectos en la pesca de atún**

La redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF, modelado para cada escenario de veda produjo una acentuada variación en la captura resultante de atunes. Esto sugiere que la aplicación de una veda, como medida de manejo, debe contemplar también su efecto en las especies de atunes.

Con la implementación de la veda sureña se observó una significativa reducción en las capturas de atún barrilete (7.3%) y patudo (21.3%), lo cual es un escenario positivo para la población de estas especies pero no para el tiburón sedoso (valores de  $\lambda$  más bajos). La reducción en las capturas de estas especies de atunes también ha sido reportada por Harley y Suter (2007), aplicando una veda de localización similar y con el mismo método de redistribución del esfuerzo de la PARC-OF. Estos autores observaron un descenso en las capturas anuales de atún barrilete con promedios de 3.8 a 4.9%, y un descenso en las capturas de atún patudo con promedios de 13.4 a 11.5% en el segundo y tercer trimestre respectivamente.

Con la implementación de la veda norteña, y considerando el efecto de la redistribución del esfuerzo pesquero de la PARC-OF, resultó en una reducción en las capturas de atún aleta amarilla y barrilete del 8.4 y 2.6%, respectivamente, y un incremento del 3.8% en las capturas del atún patudo, una especie cuyos resultados de su evaluación poblacional han reportado en los últimos años unos niveles de

mortalidad por pesca por encima de sus niveles de máximo rendimiento sostenible (Aires-da-Silva y Maunder, 2012). Paradójicamente, esta área de veda aplicada a todas las pesquerías reportó el valor más alto de  $\lambda$ , por lo que si se la adoptara como una medida de manejo pudiera comprometer a la población de atún patudo. Si se ponderaran ambos factores, una alternativa viable pudiera ser la veda norteña A, con una  $\lambda$  de 0.9508, que representa un incremento de 0.225 con respecto a la  $\lambda$  de las condiciones existentes, y por otro lado se obtiene una reducción en la captura de atún patudo de 0.36%.

La metodología empleada en este estudio también se podría utilizar para evaluar la respuesta del crecimiento poblacional de otras especies capturadas por pesquerías diferentes a la PARC bajo el efecto de una veda espacial. Para este cometido, sería necesario contar con una información cuantitativa detallada de sus capturas, tanto espacial como como temporal, y de la dinámica pesquera para conocer los factores involucrados en la redistribución del esfuerzo de esta pesquería. Por último, es fundamental un amplio conocimiento de los parámetros de historias de vida de la especie estudiada para poder evaluar su demografía.

## **Conclusiones**

Este estudio demostró la viabilidad del establecimiento de vedas espaciales para el tiburón sedoso en el OPO, considerando las características de los organismos que dejan de ser pescados (talla o estadio de madurez), la redistribución del esfuerzo pesquero y los efectos en la demografía de la especie. Se determinó que la precisión de la evaluación de la población del tiburón sedoso, como resultado de un escenario de veda, depende no solamente de la mortalidad por pesca de la PARC-OF, sino también del conocimiento de la mortalidad por pesca de las otras pesquerías. Por lo que estos resultados no pueden ser tomados en términos absolutos hasta no conocer la magnitud real que las otras pesquerías representan.

Por último, lo anterior sugiere que una veda norteña aplicada a la captura del tiburón sedoso en todas las pesquerías, es el mejor escenario para el crecimiento de la población. Sin embargo, una medida de manejo como esta deberá ser cuidadosamente evaluada tomando en cuenta su impacto en la pesca de las especies de atún, principalmente el atún patudo, ya que actualmente se encuentra por encima de sus niveles de rendimiento máximo sostenible.

## Referencias bibliográficas

- Aires-da-Silva, A., Lennert-Cody, C., & Maunder, M. (2013). Stock status of the silky shark in the eastern Pacific Ocean. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Inter-American Tropical Tuna Commission (CIAT-IATTC). Presentación disponible en: <http://www.iattc.org/Meetings/Meetings2013/MaySAC/Pdfs/SAC-04-Silky-shark-presentation.pdf>.
- Aires-da-Silva, A., Maunder, M. (2012). Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean in 2011 and outlook for the future. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Inter-American Tropical Tuna Commission (CIAT-IATTC). Disponible en <http://www.iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR-13-BETENG.pdf>.
- Aires-da-Silva, A., Gallucci, V. (2007). Demographic and risk analyses applied to management and conservation of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean. *Marine and Freshwater Research*, 58:570–580.
- Amandè, M. J., Bez, N., Konan, N., Murua, H., Delgado de Molina, A., Chavance, P., and Dagorn, L. (2011). Areas with high bycatch of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) in the Western Indian Ocean purse seine fishery. *IOTC–2011–WPEB07–29*. 9 pp.
- Beerkircher, L., Shivji, M., & Cortés, E. (2003). A Monte Carlo demographic analysis of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*): implications of gear selectivity. *Fishery Bulletin*, 101:168–174.
- Bonfil, R. (2008). The Biology and Ecology of the Silky Shark, *Carcharhinus falciformis*; p.114-127. En: Camhi, M. D., Pikitch, E. K. and Babcock, E. A. (eds.) *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Oxford, UK: Blackwell.
- Bonfil, R., Mena, R., & de Anda, D. (1993). Biological parameters of commercially exploited silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the Campeche Bank, Mexico. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 115:73–86.
- Branstetter, S. (1987). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 19. 161–173.
- Cadena-Cárdenas, L. (2001). Biología reproductiva *Carcharhinus falciformis* (*Chondrichthyes: Carcharhiniformes: Carcharhinidae*), en el Golfo de California. (Tesis de Maestría), Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México).
- Caswell, H. (2001). *Matrix Population Models. Construction, Analysis, and Interpretation*. 2nd ed. Sutherland, MA., Sinauer.
- Caughley, G. (1977). *Analysis of vertebrate populations*. Wiley, New York.
- Chen, S., Watanabe, S. (1989). Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkai Shi*, 55. 205–208.

- Clarke, S. (2011). A Status Snapshot of Key Shark Species in the Western and Central Pacific and Potential Management Options [EB WP 04]. Seventh Regular Session of the Scientific Committee of the West and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC), Pohnpei, Federates States of Micronesia. 9-17 August 2011; p. 1-36. Disponible en: <http://www.wcpfc.int/system/files/EB-WP-04%20%5BA%20Status%20Snapshot%20of%20key%20shark%20species%5D.pdf>
- Compagno, L.J.V. (1984). FAO species catalogue. Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part II (Carcharhiniformes). FAO Fisheries Synopsis No. 125, 4(2), p. 251-655.
- Cortés, E. (2002). Incorporating uncertainty into demographic modeling: application to shark populations and their conservation. *Conservation Biology*, 16(4), 1048-1062. doi:10.1046/J.1523-1739.2002.00423.X
- Cortés, E. (1998). Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management, *Fisheries Research*, 39(2), 199-208.
- Dalzell, P. J., Laurs, R. M., & Haight, W. R. (2008). Case Study: Catch and Management of Pelagic Sharks in Hawaii and the US Western Pacific Region; p. 268-274. En: Camhi, M. D., Pikitch, E. K. and Babcock, E. A. (eds.) *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Oxford, UK: Blackwell.
- Dowling, N. A., Wilcox, C., Mangel, M., & Pascoe, S. (2012). Assessing opportunity and relocation costs of marine protected areas using a behavioural model of longline fleet dynamics. *Fish and Fisheries*, 13: 139-157.
- Dulvy, N. K., Baum, J. K., Clarke, S., Compagno, L. J. V., Cortés, E., Domingo, A., Fordham, S., Fowler, S., Francis, M. P., Gibson, C., Martínez, J., Musick, J. A., Soldo, A., Stevens, J. D., & Valenti, S. (2008). You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18: 459-482.
- Frisk, M. G., Miller, T. J., Dulvy, N. K. (2005). Life histories and vulnerability to exploitation of elasmobranchs: Inferences from elasticity, perturbation and phylogenetic analyses. *J Northw. Atl. Fish. Sci.* 35: 27-45.
- Galván-Tirado, C. (2007). Biología reproductiva del tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis*, capturado en el Golfo de Tehuantepec. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.
- García-Cortés, B., Ramos-Cartelle, A., & Mejuto, J. (2012). Biological observations of silky shark (*Carcharhinus falciformis*) on Spanish surface longliners targeting swordfish in the pacific ocean over the period 1990-2011. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 68.4* (2012): 1601-1617.
- Gilman, E., Moth-Poulsen, T., & Bianchi, G. (2007). Review of measures taken inter-governmental organizations to address problematic sea turtle and sea bird

- interactions in marine capture fisheries. *FAO Fisheries Circular. No. 1025*. 1-42 pp.
- Gotelli, N. (1998). *A Primer of Ecology* (2da ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Hall, M., Román, M. (2012). Bycatch and non-tuna catch in the tropical tuna purse seine fisheries of the world. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 568*. Rome, FAO. 249 pp. Disponible online en: <http://www.fao.org/docrep/018/i2743e/i2743e00.htm>
- Hall, M., Alverson, D., & Metuzals, K. (2000). By-Catch: Problems and Solutions. *Marine Pollution*, 41 (1-6): 204-219.
- Hall, M. (1998). An ecological view of the tuna-dolphin problem: impacts and trade-offs. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 8, 1–34.
- Harley, S., Suter, J. (2007). The potential use of time-area closures to reduce catches of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the purse-seine fishery of the eastern Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 105:49–61.
- Heppell, S. S., Crowder, L. B., & Menzel, T. R. (1999). Life table analysis of long-lived marine species with implications for conservation and management; p.137-148. En: *Life in the Slow Lane: Ecology and Conservation of Long-Lived Marine Animals*. Musick, J. A. (ed.). Bethesda, Md., American Fisheries Society.
- Hoening, J. M. (1983). Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin*, 81, 898–903.
- Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), (2011). Tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean in 2010. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Fishery Status Report No. 9*. Disponible en: <http://www.iattc.org/PDFFiles2/FisheryStatusReports/FisheryStatusReport9ENG.pdf>
- Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), (2010). Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 2008. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* Disponible en: <http://www.iattc.org/PDFFiles2/AnnualReports/IATTC-Annual-Report-2008.pdf>
- Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC), (2004). Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 2002. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* Disponible en: <http://www.iattc.org/PDFFiles2/AnnualReports/IATTC-Annual-Report-2002ENG.pdf>
- 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. doi:10.1139/CJFAS-53-4-820

- Joseph, J. (1994). The tuna-dolphin controversy in the eastern Pacific Ocean: biological, economic, and political impacts. *Ocean Development & International Law*, 25(1): 1-30.
- Knip, D. M., Heupel, M. R., Simpfendorfer, C. A. (2010). Sharks in nearshore environments: models, importance, and consequences. *Marine Ecology Progress Series*, 402:1–11.
- Martell, S. J. D., Essington, T. E., Lessard, B., Kitchell, J. F., Walters, C. J., & Boggs, C. H. (2005). Interactions of productivity, predation risk, and fishing effort in the efficacy of marine protected areas for the central Pacific. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62:1320–1336.
- Martínez-Ortiz J, García-Domínguez, M., Cevallos-García, A., Ávila-Zambrano, E., Daza-Bermeo, C., Zambrano-Zambrano, R. & Moreira-Merchán, M. (2011). Estudio de caso: aspectos biológicos pesqueros del tiburón mico o tolo *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en el Ecuador. PAT- EC Grupo Tiburón, Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP) - Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Manta - Manabí; p. 1-24.
- McCoy, M. A. (2006). *Addressing Shark Finning in FFA Member Countries: Issues and Considerations*. Forum Fisheries Agency (FFA) Report, Honiara, Solomon Islands; p. 1-45.
- Minami, M., Lennert-Cody, C.E., Gao, W., & Román-Verdesoto, M. (2007). Modeling shark bycatch: The zero-inflated negative binomial regression model with smoothing, *Fisheries Research*, 84(2): 210-221.
- Oshitani, S., Nakano, H., & Tanaka, S. (2003). Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fisheries Science*, 69: 456-464.
- Oshiya, S. (2000). Biological Study and Stock Assessment of Silky Shark (“Kurotogarizme”) *Carcharhinus falciformis* in the Tropical and Subtropical Pacific Ocean. (Tesis de Maestría). School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizu, Japan.
- Pella, J., Psaropulos, T. (1975). Measures of tuna abundance from purse-seine operations in the eastern pacific ocean, adjusted for fleet-wide evolution of increased fishing power, 1960-1971. *IATTC Bulletin*. 16(4); p. 355-399.
- Peterson, I., Wroblewski, J. S. (1984). Mortality rate of fishes in the pelagic ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 1117-1120.
- Pielou, E. C. (1976). *Population and Community Ecology*. New York, N.Y., Gordon & Breach.
- Poos, J., Rijnsdorp, A. (2007). An “experiment” on effort allocation of fishing vessels: the role of interference competition and area specialization. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64: 304-313.

- R Development Core Team (2006). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org> .
- Román-Verdesoto, M, Orozco-Zöller, M. (2005). Bycatches of sharks in the tuna purse-seine fishery of the eastern Pacific Ocean reported by observers of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1993-2004. *IATTC Data Report 11*, La Jolla, Ca.; p. 1-67. Disponible en: <http://www.iattc.org/PDFFiles2/DataReports/Data-Report-11.pdf>
- Sánchez de Ita, J. A. (2004). Edad y crecimiento del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bribon, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. (Tesis de Maestría). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, México.
- Simpfendorfer, C. A. (2005). Demographic models: life tables, matrix models and rebound potential; p. 143-153. *En: Musick, J. A. and Bonfil, R. (eds). 2005. Management Techniques for Elasmobranch Fishes.* FAO Fisheries Technical Paper 474. Rome.
- Simpfendorfer C. A., Bonfil, R., & Latour, R. J. (2005). Mortality estimation; p. 127 - 142. *En: Musick, J. A. and Bonfil, R. (eds). 2005. Management Techniques for Elasmobranch Fishes.* FAO Fisheries Technical Paper 474. Rome.
- Stevens J. D., Bonfil, R., Dulvy, N. K., & Walker, P. A. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (Chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 476-494.
- Stubben C., Milligan, B., & Nantel, P. (2012). Package “popbio”: Construction and analysis of matrix population models. Disponible: <http://w.download.idg.pl/CRAN/web/packages/popbio/popbio.pdf>.
- Tidd, A. N., Hutton, T., Kell, L. T., & Blanchard, J. L. (2012). Dynamic prediction of effort reallocation in mixed fisheries, *Fisheries Research*, 125-126, 243-253.
- Watson, J. T., Essington, T. E., Lennert-Cody, C. E. & Hall, M. A. (2009). Trade-Offs in the Design of Fishery Closures: Management of Silky Shark Bycatch in the Eastern Pacific Ocean Tuna Fishery. *Conservation Biology*, 23: 626–635.
- Wilén, J. E. (2004). Spatial Management of Fisheries. *Marine Resource Economics*, 19: 7-19.