



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**Movimientos, conectividad genética y
tamaño poblacional del tiburón martillo
Sphyrna lewini, en sus áreas de crianza al
sur del Golfo de California.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINO

PRESENTA

JUAN PEDRO RODRÍGUEZ ARANA FAVELA

La Paz, B.CS. Agosto, 2018.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 17 del mes de Mayo del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"MOVIMIENTOS, CONECTIVIDAD GENÉTICA Y TAMAÑO POBLACIONAL DEL TIBURÓN MARTILLO
Sphyrna lewini, EN SUS ÁREAS DE CRIANZA AL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

Presentada por el alumno:

RODRIGUEZ ARANA FAVELA JUAN PEDRO
Apellido paterno materno nombre(s)
Con registro:

B	1	6	0	9	5	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

Rogelio G. A.
DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS
Director de Tesis

[Signature]
DR. JAMES THOMAS KITCHUM
2º. Director de Tesis

[Signature]
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

[Signature]
DR. MANUEL JESÚS ZETINA REJÓN

[Signature]
DR. EDGAR MAURICIO HOYOS PADILLA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

[Signature]
DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 07 del mes de Agosto del año 2018

El (la) que suscribe BM. JUAN PEDRO RODRÍGUEZ ARANA FAVELA Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160953 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS Y DR. JAMES THOMAS KETCHUM

y cede los derechos del trabajo titulado:

"MOVIMIENTOS, CONECTIVIDAD GENÉTICA Y TAMAÑO POBLACIONAL DEL TIBURÓN MARTILLO

Sphyrna lewini, EN SUS ÁREAS DE CRIANZA AL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: peterodriguezaf@hotmail.com - rarmas@ipn.mx - jtketchum@ucdavis.edu

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. JUAN PEDRO RODRIGUEZ ARANA

Nombre y firma del alumno

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	8
3. Justificación.....	12
4. Preguntas de Investigación.....	14
5. Hipótesis.....	14
6. Objetivos.....	14
7. Objetivos Específicos.....	14
8. Área de Estudio.....	15
9. Materiales y métodos.....	18
9.1 Captura de neonatos y juveniles.....	18
9.2 Marcaje de tiburones.....	20
9.3 Estimación Poblacional.....	25
9.4 Extracción de ADN.....	27
9.5 Reacción en cadena de la polimerasa.....	28
9.6 Análisis Genéticos.....	29
10. Resultados.....	31
10.1 La Reforma.....	32
10.1.1 Marcaje-Recaptura.....	34
10.1.2 Estimación Poblacional.....	37
10.2 Bahía de La Paz.....	40
10.2.1 Marcaje-Recaptura.....	43
10.2.2 Marcaje Acústico.....	45
10.2.3 Uso de hábitat.....	46
10.3 Extracción de ADN.....	47
10.4 ADN mitocondrial.....	49
10.5 Microsatélites.....	50
11. Discusión.....	51
12. Conclusiones.....	63
13. Referencias y Bibliografía.....	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Visión lateral y ventral de <i>Sphyrna lewini</i>	4
Figura 2. Área de estudio.....	17
Figura 3. Equipo de pesca.....	19
Figura 4. Marcas convencionales y acústicas.....	23
Figura 5. Ejemplo de Matriz Jolly-Seber.....	27
Figura 6. Capturas por especie La Reforma.....	32
Figura 7. Estructura de tallas y sexo La Reforma.....	33
Figura 8. Sitios de captura y recaptura.....	36
Figura 9. Capturas por especie Bahía de La Paz.....	41
Figura 10. Estructura de tallas y sexos Bahía de La Paz.....	42
Figura 11. Captura-Recaptura Bahía de La Paz.....	44
Figura 12. Capturas y receptores acústicos.....	45
Figura 13. Segregación de especies capturadas en Bahía de La Paz.....	46
Figura 14. Fragmento polimórficos de la región control del ADNmt.....	48
Figura 15. Sitios de pesca comercial y recapturas en La Reforma.....	55
Figura 16. Comparación tallas de captura La Reforma-BLP.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las marcas acústicas.....	22
Tabla 2. Recapturas en La Reforma.....	35
Tabla 3. Matriz de Jolly-Seber.....	38
Tabla 4. Recapturas en Bahía de La Paz.....	43

GLOSARIO

Neonato- Cualquier organismo recién nacido. En cuanto a los tiburones, estos se identifican mediante la cicatriz umbilical aún abierta.

Conectividad genética- La capacidad que tiene los organismos de una zona determinada, de relacionarse y reproducirse con los organismos ubicados en una zona diferente.

Filopatría- Tendencia que presentan muchas especies animales a permanecer en el mismo territorio en que nacieron, o a volver al mismo para reproducirse o nidificar.

Telemetría- Tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema. La información generalmente es transmitida inalámbricamente, en forma de ondas de radio, ondas acústicas, etc.

Palangre- Arte de pesca utilizado comúnmente para la captura de organismos pelágicos que consiste en una línea madre en donde se colocan varias líneas secundarias con anzuelos distanciados entre sí.

Corridas- Término local, para referirse a los movimientos migratorios en grupos de los organismos marinos.

Alelos- Una de las formas alternativas que puede tener un mismo gen que se diferencian en su secuencia y que se puede manifestar en modificaciones concretas de la función de ese gen.

Loci- Es una posición fija en un cromosoma, que determina la posición de un gen o de un marcador.

Haplotipo- Combinación de alelos de diferentes loci de un cromosoma que son heredados de manera conjunta.

Primers- Porción de ácido nucleico o de una molécula relacionada que sirve como punto de partida para la replicación del ADN.

Microsatélites- Secuencias de ADN no codificantes en las que un fragmento de pocas pares de bases, se repite de manera consecutiva.

Variabilidad genética - Variación en el material genético de una población o especie.

ABSTRACT

The scalloped hammerhead *Sphyrna lewini*, a shark species which population have notably decrease due to overfishing and to the fact that this species breeding grounds are located in coastal zones, where neonates and juvenile sharks are mainly caught. In the south part of the Gulf of California, La Paz Bay and La Reforma, Sinaloa, are two of the main sites where this species is captured in early stages of their life, so they are consider being breeding grounds. Using capture-recaptures methods, based on the Jolly-Seber model, the population in La Reforma was estimated in 1922 organisms, capturing and tagging 34 individuals. It was determined that the organisms stay several months in the area and move short distances inside the area of study. In La Paz Bay, a smaller number of sharks was found and in average the sizes were bigger that the ones tagged in La Reforma, and broader movements were detected for the organisms in this area, so La Paz Bay might be a secondary breeding ground for this species. Genetic analysis of the control region of mtDNA, showed evidence of very low nucleotide diversity (0.00034) derived of a genetic bottleneck and two different haplotypes were found, with only 1 base pair differentiation between them. Five microsatellites were used to determine that there are no significant differences between both areas with an AMOVA value of 0.80, $P=0.025$, so a genetic flow and connectivity is present in this region.

RESUMEN

El tiburón martillo común *Sphyrna lewini*, es una especie cuyas poblaciones han disminuido notablemente debido a la pesca, ya que sus áreas de crianza están ubicadas en zonas costeras, donde principalmente son capturados organismos neonatos y juveniles. En el sur del Golfo de California, Bahía de La Paz, Baja California Sur y La Reforma, Sinaloa son sitios donde se captura en gran medida a esta especie, por lo que se consideran como áreas de crianza. Utilizando métodos de captura y recaptura con el modelo de Jolly-Seber, se estimó la población de La Reforma en 1922 organismos, capturando y marcando a 34 organismos. Se encontró que los individuos permanecen por varios meses en la zona realizando movimientos cortos. En Bahía de La Paz, se encontró un menor número de organismos pero con una talla en promedio mayor a los de La Reforma, y con un rango de movimiento más amplio, por lo que podría ser un área de crianza secundaria. Análisis de la región control de ADNmt, muestra un baja diversidad nucleotídica (0.00034) derivada de un cuello de botella genético y se encontraron dos haplotipos, diferenciados por un solo par de base nitrogenada. Se utilizaron 5 microsatélites para determinar que no existen diferencias significativas entre ambas y que existe flujo genético entre ellas.

1. INTRODUCCIÓN

Muchas de las pesquerías más importantes del mundo, se han visto impactadas negativamente durante los últimos 40 años, debido a que cada año la brecha existente entre las necesidades alimenticias de la población mundial y la producción de alimento van en aumento. Particularmente en el medio marino varios de los recursos pesqueros están sobre explotados, al borde de la sobreexplotación o aprovechados al máximo sostenible, con un 20% de las pesquerías deterioradas, 70% en explotación plena y 10% en desarrollo (Arreguín-Sánchez, *et al.* 2006). Lo anterior ha ocasionado daños parciales y permanentes, en las poblaciones de las especies que sostienen dichas pesquerías, como diferencias con la línea base de los ecosistemas, incremento en las poblaciones de mesodepredadores por la ausencia de depredadores tope, y desde luego, la disminución del acervo genético de las población ocasionada por su sobreexplotación (Pauly *et al.*, 2003, FAO, 2013, Rodríguez Arana, 2016).

La pesquería de tiburón ha sido una de las más controvertidas en las últimas décadas a nivel global, debido al impacto negativo que la disminución de este grupo taxonómico puede ocasionar en los ecosistemas a nivel ecológico, así como simplemente la gran disminución en sus poblaciones que pone en riesgo de extinción a muchas especies (Sala, *et al.* 2004, Baum y Myers, 2004, Myers, *et al.* 2007). A pesar de que la carne de tiburón se consume en gran medida localmente por parte de todos los países con pesquerías activas de este grupo, el alto valor de sus aletas ha sido el detonante para que la pesquería siga siendo altamente redituable, interponiéndose en los esfuerzos de conservación y protección asignados por gobiernos e instituciones nacionales e internacionales (Smith *et al.* 2007).

En México y concretamente en el Golfo de California (GC), la pesquería de tiburón ha sido probablemente el ejemplo perfecto de una pesquería mal manejada y sobreexplotada, ya sea por flotas locales, regionales, nacionales o extranjeras. Durante la segunda mitad del siglo XX se aprovechó la gran diversidad y abundancia de este grupo, así como el alto precio y demanda de

las aletas en mercados asiáticos, para llevar al borde del colapso a esta pesquería dentro del Golfo de California (Bizzarro, *et al.* 2007). Aunque no hay datos precisos que lo indiquen, se estima que en la región del GC existe el mayor desembarque de elasmobranchios en relación con cualquier otra zona pesquera de México. De acuerdo a información de la CONAPESCA (2003), durante el periodo 1986-2003 los desembarques realizados en los cuatro estados que pescan tiburón en el GC (BC, BCS, Sonora y Sinaloa) promediaron alrededor de 15,367 t por año, representando el 41.7% de la producción nacional total durante el periodo 1986-2003 (SAGARPA, DOF, 2004).

En la última década, aunado a la disminución de las poblaciones de tiburón, el incremento en la información disponible, el aumento en popularidad ocasionado por conservación, divulgación y turismo, y una sociedad cada vez más envuelta en aspectos ambientales, se han tomado medidas de protección y manejo a diferentes niveles. Algunas de estas medidas a nivel internacional es la protección absoluta de especies particulares como el tiburón blanco y el tiburón ballena (CITES,2003; SEMARNAT,2010, IUCN, 2016; CMS,2017), prohibición del aleteo en varios países, así como medidas tomadas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES por sus siglas en inglés) de prohibir la exportación de especies amenazadas como el tiburón sedoso, tiburón zorro y tiburones martillos por mencionar algunos (CITES, 2017). En México, a partir del 2012 se implementó un veda trimestral (del día 1 de Mayo al 31 de Julio de cada año) a la pesquería de tiburones y rayas, prohibiendo su captura en el periodo de reproducción de varias especies, para darle oportunidad a las hembras gestantes de tener a sus crías y a los juveniles de reclutarse a las población adulta (SAGARPA, DOF, 2012). A pesar de que estas medidas de manejo son un gran avance en cuanto a la conservación de los tiburones, siempre habrá impedimentos administrativos y conflictos sociales, entre las personas que quieren conservarlos y las que dependen de este recurso para su subsistencia, como son los pescadores ribereños y artesanales, ubicados a lo largo de todas las costas mexicanas. Es por ello, que administrativamente, la importancia del bienestar de las personas y las comunidades humanas,

siempre van a estar por encima de la conservación de las especies que se usan como alimento o fuente de ingreso ((SAGARPA, DOF, 2012).

Una de las herramientas de manejo que ha demostrado ser más efectiva para la protección de estas especies, es el decreto de Áreas Marinas Protegidas (AMP), ya que no solo protegen a las especies, sino también a los hábitats marinos. Hay distintos ejemplos de esto, en donde al proteger zonas específicas las poblaciones de tiburones han podido incrementar sus números, como el mundialmente reconocido Parque Nacional Cabo Pulmo, en el GC (Reyes Bonilla *et al.* 2015).

A pesar del creciente número de AMPs en todo el mundo incluyendo a México, existen un sin número de zonas que no cuentan con la protección ni regulación adecuada, y que son absolutamente fundamentales para la conservación de todas las especies de tiburones como especie en general, así como recurso pesquero. Estas zonas denominadas Áreas de Crianza (AC), son aquellas en donde (1) las hembras adultas expulsan a sus crías en una temporada específica del año, (2) las crías permanecen por un tiempo variable (3) las hembras adultas tienen señales de cópula y (4) la proporción de machos y hembras es 1:1. Dichas zonas usualmente son de alta productividad, en donde las crías pueden encontrar abundante alimento y protección de otros depredadores (Castro, 1993, Salomon, *et al.* 2009). Sin embargo, para muchas especies, y concretamente para el tiburón martillo común *Sphyrna lewini*, estas AC están concentradas en zonas costeras, donde también están concentrados los principales asentamientos humanos y campos pesqueros, por lo que la relación negativa es obvia.

El tiburón martillo *Sphyrna lewini*, es el más común y abundante de los tiburones martillos (Maguire *et al.* 2006). Se caracteriza por la forma alargada y aplanada de su cabeza en forma de martillo, con una hendidura en la parte central de la cabeza (Figura 1). Tiene una distribución circumtropical en aguas con temperaturas superiores a los 20°C. Durante su ciclo de vida, los adultos y subadultos se concentran principalmente en islas oceánicas y montes submarinos y los neonatos y juveniles en zonas costeras. Los adultos y subadultos forman cardúmenes de gran tamaño conformados por cientos de

individuos, moviéndose de manera polarizada y refugiándose alrededor de un sitio central en una montaña submarina (Klimley y Nelson, 1981, 1984) o isla oceánica (Hearn *et al.* 2010; Ketchum, *et al.* 2014). Los lugares donde estas agregaciones son comunes, son las Islas Galápagos, Isla Cocos, Malpelo y el Archipiélago de Revillagigedo (Klimley, 1987, Ketchum *et al.* 2014). Por otro lado, en la plataforma continental muy cerca de la costa, donde es común la presencia de organismos juveniles y neonatos, así como hembras grávidas durante los meses de primavera y verano. Una vez que los juveniles alcanzan una talla determinada, se alejan de la protección de la costa para reclutarse a la población adulta. *S. lewini* tiene una talla de madurez diferencial de 170cm en promedio para los machos y 220cm en promedio para las hembras, alcanzándola entre los 8-10 años y entre los 9-12 años respectivamente. Presentan variaciones de tamaño dependiendo de la región en donde se encuentren, pudiendo alcanzar una talla máxima alrededor de los 4 metros y una edad máxima aproximada de 30 años. Son tiburones vivíparos, que nacen de un talla promedio entre 30-40cm y una hembra puede tener entre 12-40 crías por camada (Branstetter, 1987, Klimley, 1987, Stevens and Lyle, 1989; Chen *et al.* 1990, Anislado y Mendoza 2001)

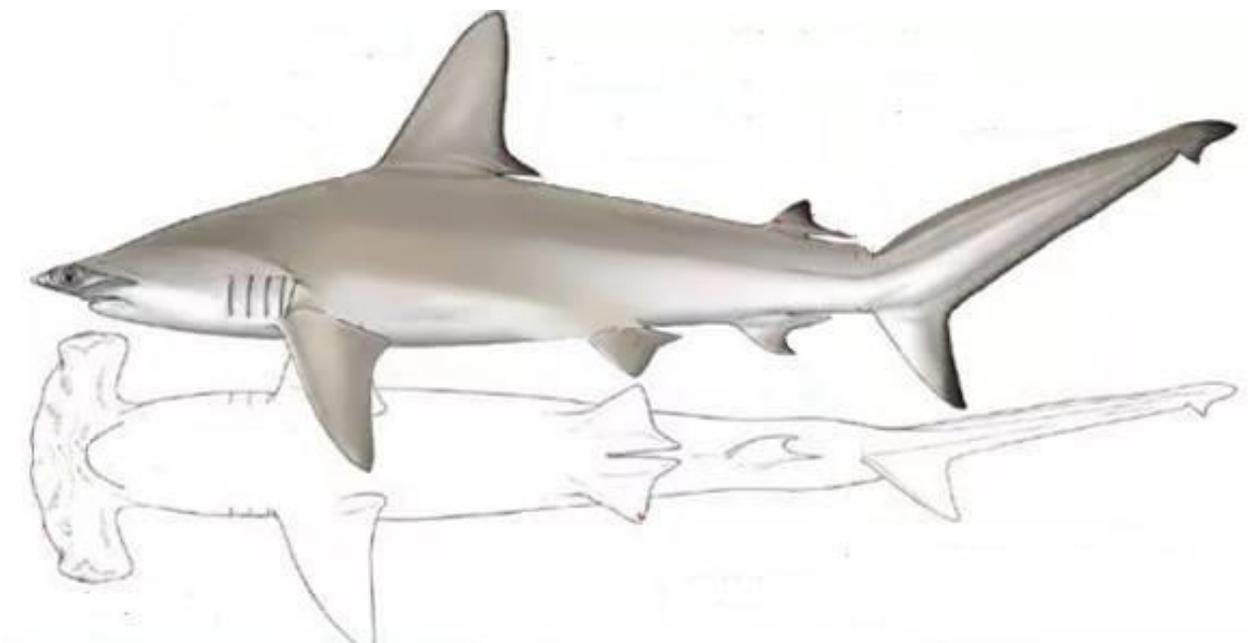


Figura 1. Visión lateral y ventral del tiburón martillo común *Sphyrna lewini*. La muesca central en la región cefálica, lo distingue de otras especies del mismo género.

S. lewini es una de las especies de tiburones más vulnerables a las artes de pesca ribereñas, debido a que la morfología de su cabeza lo hace muy susceptible a quedar atrapado en redes, chinchorros y líneas de pesca, además de su proximidad a la costa en edades tempranas lo que ha ocasionado una notable disminución en las poblaciones de esta especie a lo largo del Pacífico Mexicano (PM) en las últimas décadas (Hoyos, *et al.* 2014). Conjuntamente con lo anterior, esta especie es la principal especie objetivo en el estado de Sinaloa, con un 43.1% del total de la captura de tiburones en términos de biomasa, siendo de igual importancia para la captura pesquera de otros estados como Baja California Sur, Oaxaca y Chiapas (Smith *et al.* 2007).

Debido a la disminución de las poblaciones, las tallas de captura de *S. lewini* en el PM, han decrecido siendo capturados principalmente los organismos juveniles cerca de la costa. A pesar de la vulnerabilidad de las poblaciones, la presencia de neonatos, juveniles y hembras grávidas de *S. lewini* en zonas costeras como estuarios, lagunas y marismas a todo lo largo de la costa mexicana del Océano Pacífico, sugiere la existencia de áreas importantes de nacimientos y crianza para la especie. Aún cuando la captura pesquera sugiere lo anterior, se desconoce las zonas precisas, el desplazamiento de los individuos en dichas zonas, la fidelidad de los organismos a las áreas de crianza y las condiciones tanto oceanográficas como topográficas ideales para la crianza, crecimiento y protección natural de los neonatos y juveniles de esta especie (Anislado, 2001; Alejo Plata, *et al.* 2007). La determinación de estas áreas es importante para establecer zonas de refugio pesquero, para de esa manera contrarrestar los efectos de la pesca y favorecer la continuidad de las poblaciones mediante su reproducción, crecimiento y reclutamiento.

Para poder determinar un área de crianza (AC) para esta especie, es fundamental no solo la presencia de individuos (neonatos, juveniles y hembras preñadas), ya que esta AC puede ser temporal, estacional o migratoria. Es importante determinar el uso de hábitat que estos individuos le dan a un área determinada, sus movimientos dentro de ella, la cantidad de organismos que componen dicha población, el tiempo que permanecen los individuos en áreas específicas, y si existe conectividad entre AC, ya que varios autores han determinado que existe cierto nivel de filopatría por parte de las hembras a

regresar a los mismos sitios a expulsar sus crías, y que esto puede ocasionar divergencia genética en las poblaciones (Duncan *et al.* 2006, Sandoval, 2015)

En la actualidad la telemetría acústica y el marcaje convencional, han sido herramientas esenciales que permiten elucidar los patrones de movimiento y desplazamiento de los organismos en áreas determinadas, y que en conjunto con otras metodologías pueden ser utilizados para recomendar estrategias de manejo que incluyan la implementación de reservas marinas. El marcaje convencional ha sido utilizado principalmente para organismos terrestres, como un método económico para identificar movimientos y rutas migratorias, así como estimar el tamaño poblacional, basándose en modelos de captura-recaptura (Jolly, 1965, Chao. 1987). Sin embargo, este método presenta varios obstáculos en cuanto a la logística y al modelo para estimar el tamaño poblacional que se decida utilizar posterior al marcaje. Para organismos marinos, como los tiburones, el primer reto desde luego radica en la captura de los mismos para la colocación de las marcas, y el reto aún mayor en cuanto a la recaptura, desde luego considerando la supervivencia de los organismos al procedimiento y a las pesquerías. Por otra parte, la telemetría acústica elimina el problema de las recapturas, y proporciona información muy precisa de los movimientos de los organismos, siempre y cuando estos se den cerca de las red de receptores acústicos colocados. A diferencia del marcaje convencional, el uso de telemetría acústica es costoso, y se tiene que considerar de igual manera, la supervivencia de los organismos al procedimiento de colocación de marcas y a la pesquería (Hoyos, *et al.*, 2014).

Otro método ampliamente utilizado en la última década, es la utilización de marcadores moleculares para comprender en mayor medida diversos aspectos de la historia de vida de los organismos sin necesidad de tener al organismo completo, ya sea vivo o muerto. Los marcadores genéticos son muy versátiles, ya que con una muestra de tejido muy pequeña, nos pueden dar una gran cantidad de información y no se necesita un número de muestra muy grande para que el estudio sea significativo.

De los marcadores moleculares más importantes se encuentra el ADN mitocondrial (ADNmt), que es una parte del genoma ubicado en las

mitocondrias, con un tamaño aproximado de 16 mil pares de bases nitrogenadas (pb). El ADNmt se caracteriza por su herencia uniparental (exclusivamente materna) y la ausencia de recombinación genética, lo que lo hace sumamente conservativo, y nos puede indicar el origen filogenético de las especies así como de las poblaciones. A pesar de tener una función principal en cuanto a la codificación de proteínas relacionadas con la respiración celular, una pequeña parte de este no se expresa en este tipo de proteína, y es llamada la región control o D-loop (Beebee y Rowe, 2008). La región control tiene una mayor tasa de mutación que el resto del ADNmt, así que se puede utilizar para ver las diferencias y divergencias genéticas que se dan en el tiempo y en el espacio en donde se desenvuelven los organismos (Freeland, 2005).

Otro tipo de marcadores moleculares son los microsatélites, siendo estos segmentos cortos no codificantes de ADN (1 hasta 6 pb de longitud) repetidos en tándem repartidos en el genoma nuclear. De las características más importantes de los microsatélites es un elevado grado de polimorfismo, son de herencia mendeliana biparental y codominantes (Van Oppen, *et al.* 2000). Estas características hacen de los microsatelites, sumamente útiles en estudios de genética de poblaciones y conectividad, ya que tienen la capacidad de generar una huella genética particular para cada individuo (Fondon y Garner, 2004).

La combinación de métodos de marcaje y marcadores moleculares pueden usarse en conjunto y como complemento, para estudiar la manera en la que los tiburones utilizan su hábitat, como se detallará más adelante.

2. ANTECEDENTES

Los primeros estudios que se hicieron con telemetría pasiva, fueron realizados por Klimley (1983,1987, 1993) para determinar los movimientos de *Sphyrna lewini* en El Bajo Espíritu Santo, una montaña submarina afuera de la Ilsa Espíritu Santo(BLP). Klimley *et al.* (1983) encontraron que los tiburones se mantienen en movimiento cerca del monte submarino durante el día, y se alejan de este durante la noche, en viajes de alimentación, utilizando grietas y riscos submarinos como carreteras submarinas guiados por el geomagnetismo terrestre, para regresar al monte submarino en la mañana. Klimley *et al.* (1987) también encontró que existe una segregación en cuanto a sexos y tallas para las agrupaciones de esta misma especie en el mismo sitio, encontrando que los grupos grandes están principalmente conformados por hembras, y que tanto hembras como machos nadan a diferentes profundidades en el sitio.

En cuanto a los estudios de áreas de crianza para tiburones en el Golfo de California, uno de los estudios más representativos es el de Salomón *et al.* (2009), determinaron 13 áreas de crianza para tiburones dentro del Golfo de California. Sin embargo, esta determinación se realizó utilizando principalmente las capturas pesqueras y estudios de biología reproductiva para todas las especies de tiburones de importancia comercial, por la que las áreas de crianza establecidas se basan principalmente en la presencia de neonatos, juveniles y hembras grávidas en dichas áreas. Dentro de las áreas determinadas por estos autores, tanto Bahía de La Paz, como la Bahía Santa María de La Reforma en la costa de Sinaloa, son identificadas como áreas de crianza importantes para varias especies de tiburones, incluidas *Sphyrna lewini*.

Por otro lado Hoyos Padilla *et al.* (2014), colocaron una marca de archivo (Mk-9) a una hembra juvenil de *Sphyrna lewini* en Bahía de La Paz, siguiendo sus

movimientos desde el punto de marcaje al norte de la bahía, hasta las zonas de las grandes islas en el GC central y de regreso al norte de Bahía de La Paz, cubriendo una distancia de 3350 km en 10 meses y medio. Los autores establecen que existe un cambio ontogénico en cuanto a los movimientos que realizan, debido a la talla de este organismo, (estadio entre juvenil y subadulto), y que sale de su área de crianza para tener un mayor éxito en cuanto a su alimentación, pasando de un ambiente somero y costero, hacia aguas abiertas y profundas para su alimentación, siendo la primera evidencia de este tipo de migración ontogénico, para esta especie.

El estudio más reciente para áreas de crianza de tiburones en la zona, fue realizado por Trejo Ramírez (2017) quien determinó la parte sur de la Bahía de La Paz, como un área de crianza importante para el tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* utilizando marcaje convencional, telemetría acústica e isótopos estables. Dicho autor identificó el uso de hábitat que le da esta especie a la bahía, encontrando una gran abundancia y una segregación por tallas, diferenciando completamente tanto la zona como la profundidad donde se encuentran los neonatos y juveniles de donde se encuentran los adultos.

En relación a los marcadores moleculares y técnicas genéticas, se han realizado varios estudios enfocados en la variabilidad genética y estructura poblacional de diferentes especies de tiburones. Keeney *et al.* (2003) estudiaron la heterogeneidad genética del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus* en tres áreas de crianza ubicadas en el Golfo de México (GM) y en la costa atlántica de Estados Unidos, encontrando diferencias entre las poblaciones del GM y del Atlántico, y una filopatría por parte de las hembras, al regresar a las mismas AC. En la misma región, Sandoval (2015) encontró filopatría a sus áreas de crianza a distintos niveles en el GM, Florida y mar Caribe, utilizando marcadores moleculares como la región control del ADN mitocondrial (ADNmt) y microsatélites. Ramírez *et al.* (2003) caracterizó marcadores moleculares de ADNmt para el tiburón ballena *Rhincodon typus* en el GC, en donde se hicieron primers de 600 pares de bases (pb), para identificar a las distintas agrupaciones de tiburón ballena que se dan en el GC, como lo son BLP, Bahía de los Ángeles (BLA) y Bajo Gorda. No se encontraron

diferencias significativas en cuando a la variabilidad genética del ADNmt en los tres sitios y se identificaron 17 haplotipos, todos presentes en las tres zonas.

Concretamente para *S. lewini*, existen tres trabajos a diferentes escalas que utilizan los marcadores moleculares como principal herramienta. Probablemente el de mayor envergadura en cuanto a información genética de *S. lewini*, es el estudio realizado por Duncan *et al.* (2006) en donde estudian la filogeografía y la estructura genética de la especie a nivel global. Utilizando un fragmento de 548 pb de la región control del ADNmt, de 271 individuos pertenecientes a 20 áreas de crianza de toda la distribución de la especie, encontraron un total de 24 haplotipos y tres linajes genéticos diferentes. Lo anterior evidencía una divergencia genética, que inicia en el Indo Pacífico donde de acuerdo con los autores, es donde se originó la especie. Duncan y Holland (2006) encontraron que hay mayor continuidad en las áreas de crianza que están conectadas por los márgenes continentales, y aunque se trata de una especie con gran movilidad, no hay mucha conectividad cuando existen barreras geográficas y oceánicas importantes.

Nance *et al.* (2011) reconstruyeron la historia demográfica de *S. lewini* en el Pacífico Oriental Tropical (POT) desde México hasta Ecuador, mediante la genética de poblaciones utilizando 15 microsatélites y la región control del ADNmt (548 pb) Estos autores encuentran 7 haplotipos en el POT y una evidente disminución en las poblaciones basados en el flujo genético histórico y actual. Estiman que en la actualidad, hay varias poblaciones de *Sphyrna lewini* que son poco abundantes, y que las poblaciones han disminuido en el POT en al menos tres órdenes de magnitud.

Por último, el estudio realizado por Castillo-Olguín *et al.* (2012), evaluaron la estructura poblacional de *S. lewini* en el Pacífico Mexicano, dividiendo los sitios de muestreo en Norte (Costa occidental de Baja California y Baja California Sur) Centro (Sinaloa, Nayarit y Michoacán) y Sur (Oaxaca y Chiapas), utilizando la región control del ADNmt (714 pb) y 5 microsatélites. Identificaron 5 haplotipos y una divergencia genética entre las poblaciones del Norte y Sur , con respecto a las del centro del país que presentaron una diversidad haplotídica mayor. Los autores encontraron una población efectiva de $k=2$ (k,

se refiere al número efectivo de poblaciones) y una expansión demográfica que comenzó hace 262,600 años basados en el flujo genético entre las zonas consideradas en su estudio.

3. JUSTIFICACIÓN

El declive en las poblaciones de *Sphyrna lewini* en el Pacífico Mexicano se debe principalmente a la sobrepesca de juveniles y hembras grávidas, lo que ha ocasionado una disminución en la abundancia del 50% al 90% en muchas zonas de su distribución (Torres-Huerta *et al.* 2008, Nance, *et al.* 2011). Diversos estudios han mostrado evidencia de la existencia de diferentes subpoblaciones dentro del intervalo de distribución de esta especie en el PM, por lo que resulta necesario el estudio de la conectividad genética para determinar la distribución y manejo de cada una de ellas (Castillo-Olguín *et al.* 2012). *Sphyrna lewini* es considerada una especie en peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (ya que la pesquería intensiva, en conjunto con la baja resiliencia a los cambios ambientales y una baja recuperación cuando hay una disminución poblacional, hace de esta especie, una de las especies de tiburones más vulnerables en la actualidad Pérez-Jiménez, 2014).

Además de ser una especie en peligro, su frecuente presencia en el PM sugiere una fuerte filopatría, por lo que es de vital importancia preservar las áreas de crianza donde se desarrollan neonatos y juveniles y donde ocurren los procesos adaptativos que les confiere ventajas (Duncan, *et al.* 2006, Salomón, *et al.* 2009)

Aunque las áreas de crianza están protegidas por la NOM029 (DOF, 2007), el número de estas áreas es muy limitado y no se tienen contempladas para todas las especies, además de que no es posible hacer programas de manejo eficientes, ya que no se conocen adecuadamente los patrones migratorios y hábitats clave de esta especie (nacimiento, expulsión y protección de crías), lo

cual es fundamental para poder establecer zonas de refugio, y una explotación sustentable de la especie (Speed *et al.* 2010).

Ya que las pesquerías principalmente extraen organismos juveniles por ser los más numerosos, una disminución en la población de este grupo de edad, podría causar el colapso de la especie y la pérdida de variabilidad genética de las poblaciones en su conjunto. El desarrollo de estrategias de conservación depende de la información científica generada sobre las características biológicas, estructuras poblaciones, migraciones y hábitats usados por los juveniles, por lo que es fundamental obtener información adicional acerca de estos estadios tan poco estudiados.

Se ha demostrado que con el uso del marcaje convencional y acústico, junto con el análisis genético de las poblaciones, incrementa la resolución en la identificación y caracterización de las áreas de crianza. El estudio de los movimientos y tamaño poblacional del tiburón martillo común en las áreas de crianza al sur del Golfo de California, es fundamental para la creación de zonas de refugio de la especie, que den oportunidad a las hembras gestantes de expulsar a sus crías y a los organismos neonatos y juveniles de desarrollarse.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el uso de hábitat de neonatos y juveniles, en las áreas de crianza en el sur del Golfo de California?

¿Cuál es el tamaño poblacional de *Sphyrna lewini* , en sus áreas de crianza en la parte sur del Golfo de California?

¿Existe conectividad genética entre las áreas de crianza de *S. lewini* en la parte sur del Golfo de California?

5. HIPÓTESIS

Dada la existencia de áreas de crianza de tiburón martillo *Sphyrna lewini* en las zonas costeras del sur del Golfo de California, se espera encontrar una alta residencia y abundancia de neonatos y juveniles, así como una conectividad entre estas áreas.

6. OBJETIVO GENERAL

Definir el uso de hábitat en cuanto a la permanencia de los organismos en el área de estudio, la conectividad genética y el tamaño poblacional del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en sus áreas de crianza de La Reforma, Sinaloa y Bahía de La Paz, Baja California Sur.

7. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir el uso de hábitat de neonatos y juveniles de *S. lewini* en La Reforma y Bahía de La Paz.
- Estimar el tamaño poblacional de neonatos y juveniles de *S. lewini* en La Reforma utilizando métodos de captura-recaptura.
- Determinar la conectividad entre La Reforma y Bahía de La Paz para esta especie

8. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California tiene una longitud de 1203km y su ancho varía entre los 92km en la parte más angosta y 222 km en la parte más ancha. Está delimitado al oeste por la Península de Baja California, al este por los estados mexicanos de Sonora, Sinaloa y Nayarit y al sur por el Océano Pacífico en aguas pertenecientes a la zona económica exclusiva de México (Arreguín Sánchez, 2012; Bizarro, *et al.*2007)

Se encuentra ubicado en una latitud subtropical, lo cual existen grandes variaciones climáticas anuales manteniendo una media en la temperatura superficial del mar anual de 24°C, teniendo como temperaturas máximas de 32° C en el verano y de 18°C en invierno. Su profundidad promedio es mayor a un kilómetro, teniendo máximos de profundidad alrededor de los 3500m. Las aguas del GC pueden mezclarse libremente con las del Océano Pacífico (Morales-Sánchez, 2004).

La distribución temporal y espacial de las masas de agua de mayor salinidad sugiere que los intercambios de calor suceden por alternancia de flujo de entrada y salida de masas de agua de mayor temperatura (superficial) y de menor temperatura (sub-superficial). El agua del Golfo es altamente salina y cálida originada en el interior del Golfo ($S > 34.9\text{‰}$, 22° C), y el agua superficial Ecuatorial es cálida y salina, ($T > 22^\circ \text{C}$, $34.6\text{‰} < S < 34.9\text{‰}$) (Torres-Orozco, 1993).

Existe un amplio espectro de hábitats marinos en el Golfo de California: una pronunciada transición latitudinal que incluye desde mareas amplias, profundidades someras, temperaturas estacionales y variación del régimen de salinidad en el norte y condiciones físicas más moderadas y mayores profundidades en el sur. También la región se caracteriza por diversas características topográficas, incluidas las islas, los bancos fuera de la costa y las montañas submarinas, que interactúan con las variables estacionales de las corrientes oceánicas en la boca del Golfo (Torres, 1993; Thunnell, 1998). Estos factores físicos contribuyen al gran número de endemismo de especies marinas en el Golfo (Maluf, 1983).

El GC cuenta con una alta productividad, ocasionada por un gran aporte de nutrientes y minerales provenientes del continente gracias a los vientos, además del arrastre y vertiente ocasionado por lluvias y ríos, una gran mezcla de agua debido a las fuertes mareas que son causantes de surgencias en la zona oriental del Golfo durante el invierno y en la zona occidental durante el verano. Todo esto hace posible que exista gran cantidad de plancton, y por lo tanto una red trófica subsecuente sumamente diversa y productiva (Maluf, 1983).

Este estudio se enfoca en la parte sur del Golfo de California (Figura 2) , en dos localidades ubicadas en latitudes similares en ambas costas del GC. La primera área de estudio es La Reforma, Sinaloa, un pueblo pequeño situado a unos 80 km de Culiacán en la costa este del Golfo de California. Es un estero que forma parte del Corredor Reforma- Marismas Nacionales en el Golfo de California. La Reforma está ubicada en la Bahía Santa María de la Reforma (BSMR), que está compuesta por un cuerpo de agua de 55,000 Ha. Sin embargo, la presencia de tiburones se concentra en la plataforma continental fuera de la bahía. La zona de estudio está limitada al norte por la boca de la Bahía llamada La Risión y al Sur por la Boca de Navolato, y se extiende hasta 40 kilómetros mar adentro, que es la zona comúnmente utilizada para la pesca del recurso tiburón. La segunda zona de estudio es La Bahía de La Paz, con una dimensión aproximada de 80 km de largo y su parte más ancha es de 35 km. La comunicación con el Golfo de California ocurre a través de tres entradas: la Boca Grande, una comunicación ancha y profunda que alcanza profundidades de 350 m, el Canal de San José en la parte norte de la Bahía, siendo este estrecho y poco profundo y el canal de San Lorenzo ubicado entre la Isla Espiritu Santo y la parte este de la bahía. Bahía de La Paz presenta un gradiente batimétrico con profundidades al sur desde 10 m, hasta 450 en su parte norte, lugar donde se localiza la Cuenca Alfonso (Obeso-Nieblas et al., 2004).

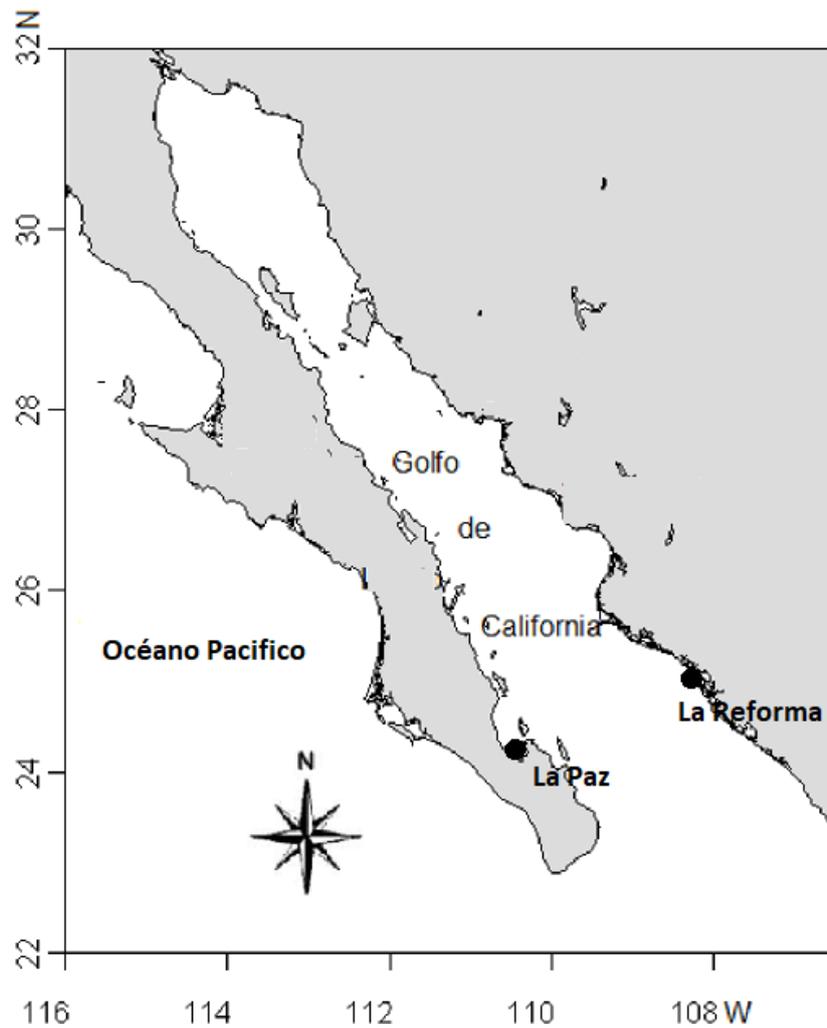


Figura 2. Golfo de California. En la parte sur de la costa de la Península de Baja California, se identifica la Bahía de La Paz y en la costa continental, la laguna costera y plataforma continental afuera de La Reforma, Sinaloa.

9. MATERIALES Y METODOS

Para este proyecto de investigación, se utilizaron en primer lugar, técnicas de marcaje de los organismos, para aplicar métodos de captura-recaptura, para determinar movimientos y abundancias. De igual manera se utilizaron técnicas genéticas y moleculares a biopsias obtenidas mediante el marcaje, para determinar los perfiles genéticos de ADNmt y microsatelites, para establecer una conexión entre ambos sitios.

9.1 Captura de neonatos y juveniles

Los muestreos en La Reforma se realizaron en octubre y diciembre de 2015, marzo, mayo, junio y agosto 2016. Para Bahía de La Paz, los muestreos se hicieron en febrero, marzo, mayo, julio, noviembre y diciembre 2017. Cada salida de pesca tuvo una duración variable, desde un par de días, hasta un máximo de 10 días consecutivos en Julio de 2017. Las salidas de pesca se realizaron en su mayoría durante la noche, ya que es cuando los tiburones están más activos.

La captura de los neonatos y juveniles, se realizó mediante el uso de un palangre (Fig. 3) de 75 anzuelos circulares para La Reforma y 66 anzuelos circulares y tipo "J" para La Paz (Fig. 3) .Esto debido al modo y técnicas de pesca llevados a cabo por los pescadores locales. A los anzuelos se les retiró la lengüeta, para facilitar la extracción del anzuelo y minimizar el daño causado al tiburón al momento de ser capturado. Los lances se realizaron a la deriva, para cubrir la mayor área posible, y cada lance tuvo una duración (tiempo de remojo) de 1 hora, para garantizar la supervivencia de los organismos, ya que el tiburón martillo es muy susceptible a la anoxia cuando carece de movimiento aun por cortos periodos de tiempo. La carnada utilizada fue principalmente lisa y barrilete, cortada en pequeños trozos de entre 50-100 gr aproximadamente.

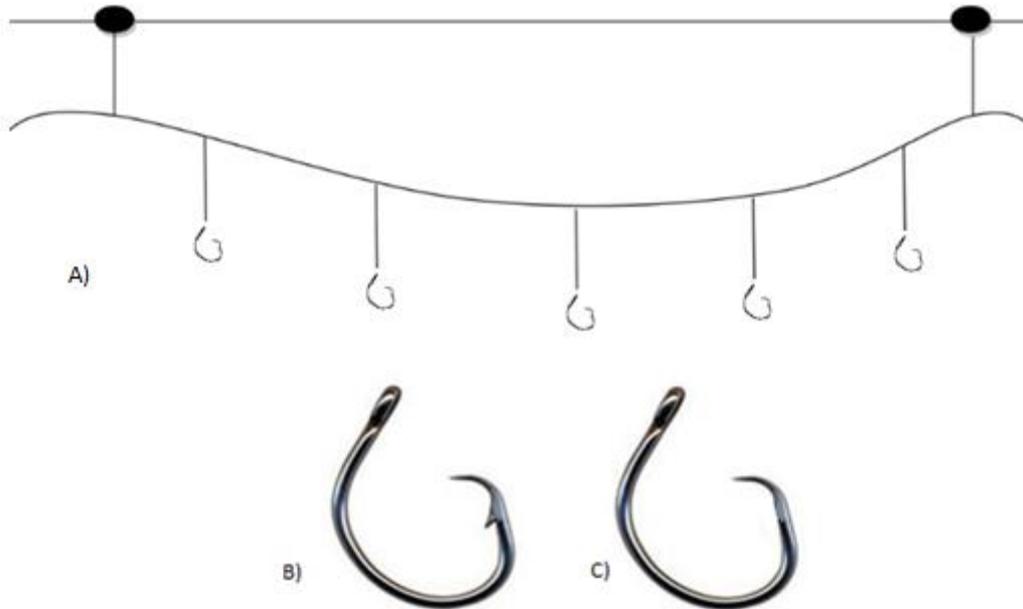


Figura 3. A) Ilustración ejemplificando el tipo de palangre utilizado. El empate o estobos de cada anzuelo, sale de la línea madre que los mantiene cerca de la superficie con boyas a todo lo largo de la línea madre. La longitud total del palangre vario entre 400-800m. B) Anzuelo circular y C) Anzuelo circular sin lengüeta para minimizar el daño y removerlo fácilmente.

Se tomaron las medidas necesarias para evitar el daño físico al momento de sacarlos del agua. Según Jones (1979), la exposición a la luz solar o artificial directa por largos intervalos de tiempo causa daño a la retina. Por lo que una vez a bordo de la embarcación, se colocó una toalla húmeda sobre los ojos durante la manipulación, así evitando la exposición directa de los ojos a la luz solar o artificial, además que esta técnica hace que el organismos entre en inmovilidad tónica. Simultáneamente, se colocó una manguera conectada a una bomba de achique dentro de la boca del tiburón, para bombear agua de mar a través de las branquias del organismo, manteniendo ventilado al organismo durante el procedimiento de marcaje.

Durante los lances se colectaron los siguientes datos:

- 1) Fecha y hora de captura.
- 2) Datos físicos: coordenadas geográficas (tomadas por un GPS), profundidad, salinidad, oxígeno y temperatura superficial del mar.
- 3) Datos de los tiburones capturados: identificación a nivel de especie (Compagno, 2005), sexo, (si es macho se le midieron los gonopterigios, la torsión y calcificación de estos; si es hembra se anotó si hay presencia de marcas de apareamiento o posible estadio gestante) longitud precaudal, furcal, total y de ancho, estadio de madurez (neonato, juvenil o adulto) y su condición al partir.

9.2 Marcaje de tiburones

Se colocaron marcas convencionales, conocidas como “marcas de espagueti” y marcas acústicas a los tiburones capturados (Hueter, 1994). Las primeras consisten en un cuerpo de plástico de 12 cm unido a un sujetador y a un dardo de acero inoxidable que se inserta en el músculo del animal (Fig 4).

Cada marca convencional tiene impreso un código de identidad y el número telefónico del CICIMAR-IPN y reportar la fecha, coordenadas del sitio de captura, longitud total, furcal y el código de la marca.

Para aumentar las probabilidades de conseguir esta información en caso de que el organismo sea recapturado por pescadores locales, se les informó de los objetivos del proyecto y de su valiosa participación de la comunidad local, además de que se ofreció una recompensa de \$200 pesos mexicanos, por cada marca que sea reportada y de \$500 en caso de que alguno de los organismos capturados tenga marca acústica y esta sea regresada a los investigadores.

De acuerdo con Weber (2009), para elegir el modelo del transmisor (marca acústica codificada) se deben tomar en cuenta ciertas características del estudio:

- El intervalo en la talla de los animales (tomar en cuenta que el peso de la marca en aire sea menor del 2% del peso del animal en aire).
- La expectativa de vida de la batería que requiere el estudio.
- La frecuencia de transmisión del transmisor.
- El poder acústico de salida para el modelo del transmisor.

Tomando en cuenta lo anterior, para este estudio se eligió el tipo de marca V13 y V16 (Vemco, Ltd) para los organismos menores y mayores a 1.20m respectivamente (Tabla 1-Fig. 4. Este tipo de marca envía una pulsación cada 1-3 minutos, la cual es registrada en receptores acústicos estratégicamente colocados en diferentes partes del GC. La red de receptores fue colocada previamente por Pelagios Kakunjá A.C. y se cuentan con 9 receptores en Bahía de La Paz.

Para la zona de La Reforma, Sinaloa, se optó por no colocar receptores acústicos por las siguientes razones:

- El tipo de fondo en la plataforma continental es mayormente limoso, lo que no permite la sujeción adecuada de los receptores al fondo marino.
- La plataforma continental afuera de La Reforma, es una zona de pesca sumamente intensiva, por lo que la integridad de los receptores se vería comprometida en caso de que estos sean arrancados del fondo marino, por las artes de pesca que ahí se utilizan (arrastres camaroneros con embarcaciones mayores)

Tabla 1. Características de las marcas acústicas utilizadas en este estudio.

Tipo de Marca	Diámetro (mm)	Longitud (mm)/Peso(g)	Poder de Salida (dB)	Duración de la Batería (días)
V13	13	48 /6.5	147-153	1135
V16	16	98/17.3	150-162	3650

Las marcas de espagueti se colocaron a todos los tiburones capturados por punción a través de un aplicador de acero inoxidable afilado, con 4 mm de ancho. La marca se aplicó en el lado izquierdo del tiburón justo por debajo de la aleta dorsal y arriba de la columna vertebral, penetrando a través de la línea media del tiburón con un ángulo de entrada de 45° con respecto al eje longitudinal caudal, orientando la barbilla de la marca hacia la línea media. La marca se interna en el cuerpo del tiburón hasta el punto en que el aplicador pueda sentirse a través de la piel en el costado opuesto. Se retrae entonces el aplicador comprobando que la marca quede bien anclada en la musculatura dorsal.

Por su parte, las marcas acústicas se colocaron solo en tiburones con la mejor condición física y a los individuos capturados únicamente en Bahía de La Paz por las razones antes mencionadas. Estas marcas se colocan internamente en la cavidad intraperitoneal, mediante una incisión quirúrgica con un bisturí en la parte ventral justo en medio de las aletas pectorales. La incisión normalmente es de 2-3 cm de largo para que la marca acústica de un diámetro máximo de 16 mm se inserte fácilmente. Se tuvo especial cuidado de cortar solo piel y capa muscular, y finalmente con el dedo romper la membrana del peritoneo, para que la marca quede dentro de la misma. Al terminar se cierra la incisión con sutura absorbible.

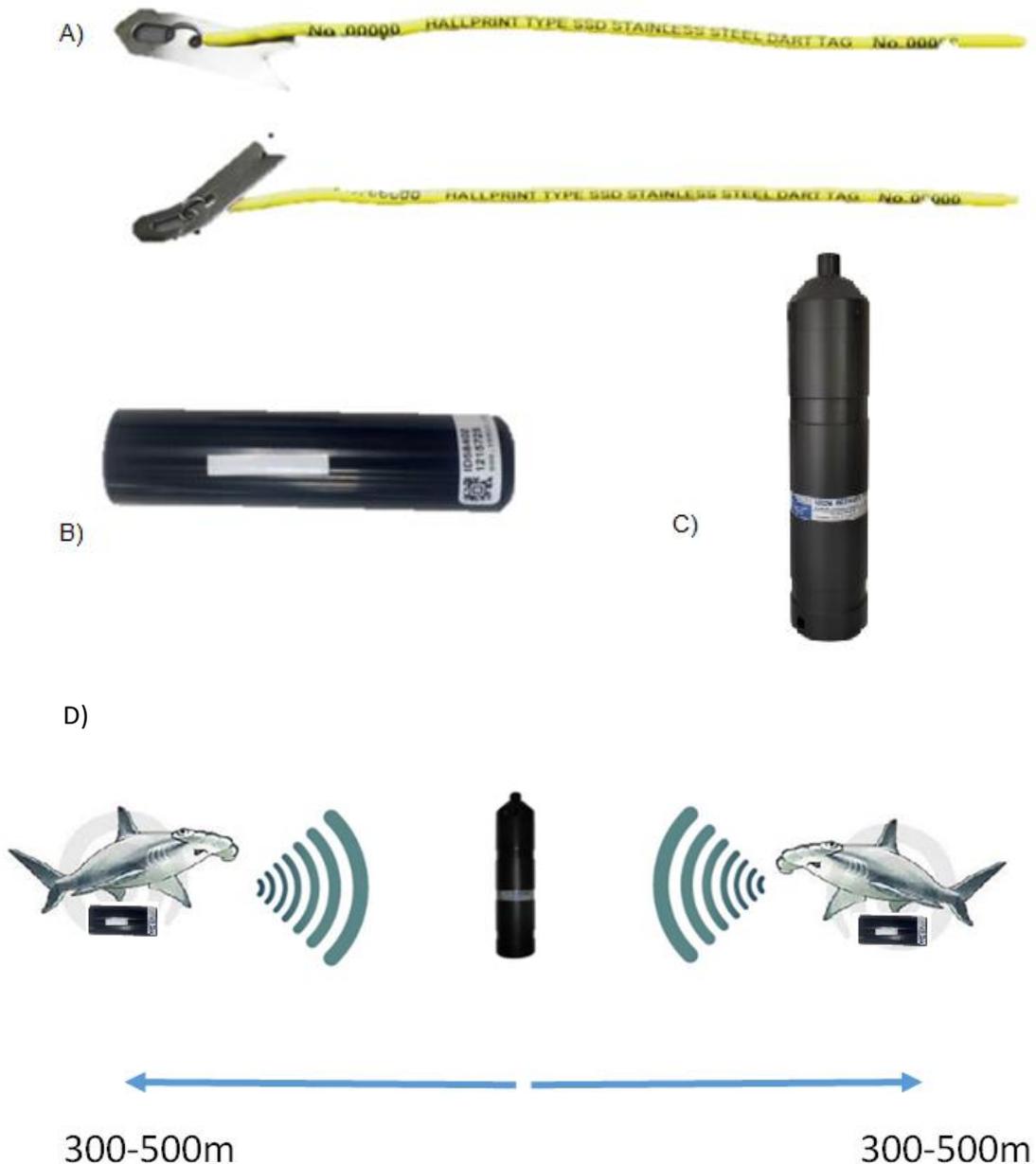


Figura 4. A) Ejemplo de marcas convencionales o de espagueti que se colocaron a todos los tiburones capturados. B) Marca acústica V16 para colocación interna. La etiqueta en la marca indica el código específico de cada marca, con el cual se identifica individualmente a cada organismo. C) Receptor acústico Vemco VR2, los cuales detectan mediante un hidrófono, los pulsos acústicos emitidos por las marcas. D) Rango de detección del receptor acústico. Varía entre los 300-500m, dependiendo de las características del fondo y las condiciones oceanográficas.

Antes de liberar al organismo, se toman muestras biológicas para su análisis. La primera de ellas es una muestra de tejido, tomada mediante un corte del cartílago de la segunda aleta dorsal, de unos 2-3 cm aproximadamente (pliegue

libre). Esta muestra se guardó en viales de 5 cm³ en alcohol al 90% y se mantuvo en refrigeración. La segunda muestra biológica que se tomó fue de sangre, utilizando jeringas de 5-7 ml, dependiendo el tamaño del organismo, extraída de la vena caudal en la parte ventral del organismo a pocos milímetros del inicio de la aleta caudal. La sangre se almacenó en tubos de heparina y se mantuvo en congelación para que sea aprovechada para otro estudio, ya que no fue utilizada para la presente investigación.

Las condiciones del tiburón al ser liberado después de su captura y marcaje fueron medidas de acuerdo con la escala de vitalidad de Hueter (1994), utilizando el siguiente criterio:

Condición 1 (Buena) – No se necesita reanimar al tiburón al regresarlo al agua. Nado rápido al liberarlo con un vigoroso salpicar de agua.

Condición 2 (Regular) –No se requiere de reanimación*. Presenta nado lento pero fuerte al liberarlo.

Condición 3 (Pobre) – Corto periodo requerido para reanimarlo (30 seg). Una vez reanimado nada lento atípico al soltarlo.

Condición 4 (Muy pobre) – Largo periodo para reanimarlo (más de 30 seg). Una vez liberado presenta nado limitado o ausente, pero con respiración funcional.

Condición 5 (Muerte) – Muerto al removerlo de la red o moribundo e incapaz de reanimarse después de un largo período sumergido.

*Reanimación.- Se realiza en caso de asfixia aparente, se coloca al tiburón en el agua moviéndolo a manera de que el agua entre por su boca hacia las branquias de manera abundante. Esta maniobra ayuda al sistema de intercambio al aumentar en gran medida la velocidad y eficiencia de la difusión de oxígeno hacia la sangre.

El protocolo de marcaje y manipulación fue establecido por la Universidad de California Davis. (Protocolo No. 16022)

9.3 Estimación Poblacional

Se utilizó el método de marca-recaptura de *Jolly-Seber*. Este método consistió en dos periodos de muestreo: El período 1 consiste en la captura, marcado y liberación. En el período 2 se liberan los organismos marcados y posteriormente se captura una muestra observando el porcentaje de individuos marcados recapturados (Krebs, 1985).

En este procedimiento se conoce directamente la población marcada. En censos ulteriores el número de animales marcados disminuirá por virtud de muerte y migración y aumentará por el marcado de nuevos individuos de un período a otro (Krebs, 1985).

Población estimada = Tamaño de la población marcada / Proporción de la población marcada

La estimación poblacional se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N_i = \frac{M_i N_i}{r_i}$$

N_i- es el estimado de la población sobre el día i

M_i- es el estimado del número total de animales marcados en la población sobre el día i

r_i- es el número total de animales marcados recapturados sobre el día i

N_i- el número total capturado sobre el día i.

Este método se basa en cuatro supuestos:

1. Se capturan aleatoriamente los animales marcados y no marcados.
2. Los organismos marcados están sujetos al mismo índice de mortalidad que los no marcados.
3. No se pierden o pasan por alto las marcas.
4. El método funciona tanto para poblaciones abiertas como cerradas.

Para la estimación del tamaño poblacional, se realiza una matriz que contempla los tiempos de captura, y el tiempo de última recaptura (Fig. 5). En este estudio, los tiempos de captura se consideraron los meses en donde se realizaron salidas de marcaje y los meses en donde se realizaron recapturas por parte de los pescadores locales. Se utilizaron diez meses de captura para la localidad de La Reforma, los cuales corresponden a los meses de octubre y diciembre 2015, enero, febrero, marzo, abril, julio, agosto, octubre, noviembre 2016 y abril 2017.

Para tener una estimación poblacional confiable, es necesario contabilizar a todos los organismos extraídos de la población. Para ello, con ayuda de entrevistas a los pescadores, el cálculo del número de pescadores, embarcaciones y la consulta de las bitácoras de arribos de pesca en el muelle principal de La Reforma, se estimó el total de capturas de *Sphyrna lewini* para la localidad de La Reforma para cada uno de los diez meses de captura establecido con anterioridad.

Para BLP, no se realizó estimación poblacional, ya que el número de tiburones marcados resultó ser muy bajo.

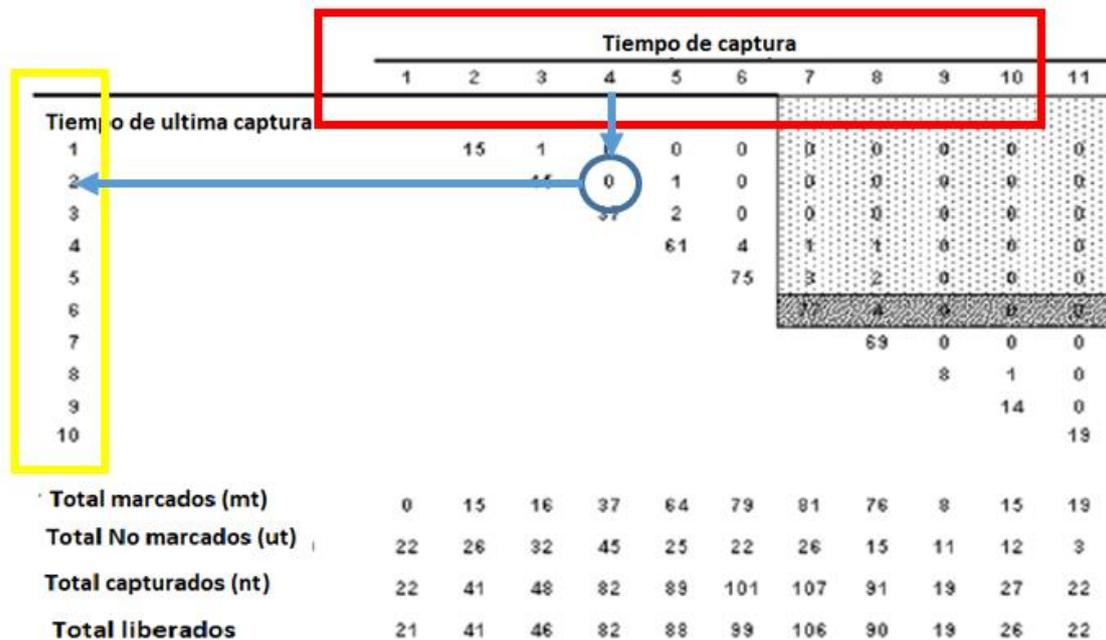


Figura 5. Ejemplo de matriz para modelo de marcaje-recaptura de *Jolly Seber*. En el recuadro rojo se colocaron los Tiempos de captura correspondientes a octubre y diciembre 2015, enero, febrero, marzo, abril, julio, agosto, octubre, noviembre 2016 y abril 2017. En el recuadro amarillo se muestra el tiempo de ultima recaptura para los mismo meses.

9.4. Extracción de ADN

De cada organismo capturado se extrajo una porción de tejido de 3 cm de aleta caudal preservándose en alcohol al 70% y transportándolo a las instalaciones de laboratorio de genética de organismos acuáticos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Del tejido colectado se obtuvo el ADN genómico mediante el protocolo modificado de fenol cloroformo: las muestras de aleta se trataron con 500 µl de buffer extracción más 60 µl de sodio dodecilo sulfato (SDS) al 10% y 20 µl de proteinasa K, incubándose a 37°C por 24 horas.

Posteriormente, se limpió de nucleasas y lípidos con una extracción de fenol (500 µl), una de fenol cloroformo isoamil (PCI 400 µl) y finalmente una de cloroformo isoamil (300 µl). Se precipitó el ADN con 1000 µl de etanol absoluto frío y con 20 µl de cloruro de sodio. Enseguida se incubó en un congelador a -

20°C por 2 hrs. Posteriormente se centrifugaron a máxima *velocidad*, se decantó el sobrenadante y se hizo otro lavado con etanol frío ahora al 70% (200 µl). Para decantar el sobrenadante de nuevo y resuspender el tampón o pellet en 50 µl de TE (10 mM de Tris pH 8.0 y 1 mM de EDTA) estéril. Posteriormente se comprobó la calidad del ADN con 3 µl de la extracción (stock) y 1 µl de azul de bromofenol en un gel de agarosa al 1% y visto en un transiluminador de luz UV. Se determinó la concentración en nanogramos por microlitro con ayuda del Nano drop, para finalmente almacenarse a -4°C hasta su utilización. A partir del ADN aislado y purificado, se procedió a la amplificación por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (*PCR* por sus siglas en inglés) de los dos genes mitocondriales y los 5 microsatélites.

9.5 PCR

Se amplificó con los *primers* universales reportados por Stoner *et al.* (2003): Elasmocr15642F: 5'-TTGGCTCCCAAAGCC-3' y Elasmocr16638R: 5'-CCCTCGTTTTWGGGGTTTTTCGAG-3'. Los productos de PCR fueron inicialmente amplificados en volúmenes de 15 µl conteniendo: 1.5 µl de Buffer de amplificación (10mM de Tris-HCl, 25 mM de KCl, pH 8.3), 0.12 µl de dNTP's, 0.075 µl de *primer forward*, 0.075 µl de *primer reverse*, 0.08 µl de DreamTaq y .3 µl de ADN sin diluir (stock), llevándose después a 50 µl. Las condiciones del PCR consistieron en un ciclo inicial de 5 minutos a 94°C, seguido de 35 ciclos de 1 min a 94°, 1 min a 59° y 2 min a 65°, y con un tiempo de extensión final de 5 minutos a 72 grados. Una vez amplificado, las muestras fueron almacenadas.

9.6. Análisis Genéticos

Una vez amplificadas las secuencias de ADN, las muestras se mandaron a la empresa Macrogen en Corea, para su secuenciación. Las secuencias de ADNmt, fueron editadas y cortadas en el software BioEdit 7.0 (Hall, 2004). Se eliminaron las primeras 50 pares de bases de la secuencia, ya que estas son altamente variables y es común que ocasionen ruido al momento del análisis. De igual manera se eliminó una cantidad variable de pb del final de la región control de ADNmt de las secuencias, ya que cada secuencia varía ligeramente en longitud. En total, se homogenizó y se trabajó con una secuencia de 900 pb. Posteriormente fueron alineadas con la herramienta ClustalW Multiple Alignment de Bio Edit y se revisaron las secuencias en el GenBank de la NCBI utilizando la herramienta BLAST para corroborar la especie a la que pertenecen, así como si existe su registro en esta base de datos.

Se utilizó el software DNASP 5 (*DNA Sequence Polymorphism*) para determinar el número de sitios polimórficos (F/s), el número de haplotipos, diversidad haplotídica y diversidad nucleotídica. Además, se realizó la prueba D de Tajima, así como las pruebas Fu y Li para neutralidad molecular, basadas en el hecho que el número de sitios de segregación y el promedio de las diferencias nucleotídicas esta correlacionados.

Para los análisis de los 5 microsatélites utilizados, se partió desde una base de datos de Excel, para posteriormente ser convertida en los archivos de entrada de distintos programas, con el programa CONVERT, obteniendo los formatos GENEPOP, .arq y .str. El primer software utilizado fue GenAEx y GENETIX para determinar el índice de fijación (Fst) para el conjunto de loci (microsatélites) y para cada locus individual. Posteriormente se utilizó el programa ARLEQUIN para hacer un AMOVA (Análisis de Varianza Molecular) para comparar la diversidad genética entre todas las muestras. Hasta este punto, las muestras no fueron diferenciadas por localidad, para ver si existe diferenciación genética que permita separar a los organismos por localidad. El programa STRUCTURE 2.3.3 (Pritchard et al, 2000) se usó para evaluar la estructura poblacional y establecer la asignación de cada individuo a un deme

genético (La Reforma y BLP). Se usó el modelo de correlación de frecuencias alélicas, identificando entre 1 y 10 poblaciones (K) con 10 iteraciones y para cada iteración se realizaron 10,000 réplicas de calentamiento (*burn in*). Se utilizó la prueba estadística propuesta por Evanno *et al.* (2005), para determinar el número real de poblaciones.

10. RESULTADOS

Las estrategias de captura variaron ligeramente en las diferentes zonas, debido a que los pescadores locales suelen usar artes de pesca muy particulares y especializados en su área de trabajo. De igual manera, ambas regiones presentan condiciones oceanográficas muy distintas lo cual mostro una evidente diferencia en cuanto a las capturas.

En la localidad de La Reforma, los primeros lances realizados se hicieron con el arte de pesca “chinchorro”, siendo este una red de 10m de ancho y cerca de 1 km de largo, colocada en la superficie, ya que es el método preferido por los pescadores locales para la captura de tiburón. Sin embargo, este método de pesca no es selectivo, ya que captura no solo tiburones, sino rayas, peces pelágicos, y prácticamente cualquier otro macro organismo que se mueva cerca de la superficie, teniendo una captura incidental elevada. Adicionalmente, los tiburones capturados con este método, al enredarse en la red, se quedan completamente inmóviles y mueren de asfixia al poco tiempo, lo que resultó que este método no sea viable para los objetivos de este estudio. Por lo anterior, se escogió el palangre o simbra, como único arte de pesca a utilizar en las dos zonas, por tener un mayor índice de selectividad y permitir a los tiburones cierto grado de movilidad al ser capturados, disminuyendo la muerte incidental.

10.1 La Reforma

Se realizaron 6 expediciones de marcaje de octubre 2015 a agosto 2016 en la plataforma continental afuera de la Bahía Santa María de La Reforma, con un promedio de 4 salidas de pesca por cada expedición. Cada salida tuvo una duración entre 12 y 20 horas, iniciando las actividades de pesca justo antes del atardecer y haciendo el último lance una hora después del amanecer. En total, se llevaron a cabo 110 lances, correspondientes a 110 horas efectivas de pesca con un palangre de 66 anzuelos, capturando un total de 57 tiburones, así como otras especies de peces óseos como pargos (*Lutjanus peru*), dorado (*Coryphaena hippurus*) y grandes cantidades de bagre (*Bagre panamensis*). Toda la pesca incidental, si permanecía con vida al momento de la revisión del palangre, se liberaba y de lo contrario, se subían a bordo de la embarcación para ser utilizados como carnada o consumo local.

De los 57 tiburones capturados, 34 de ellos pertenecieron a la especie *Sphyrna lewini*, y el resto a otras especies que comparten el mismo hábitat (Fig. 6). Esto representa que el 60% de las capturas corresponden a la especie objetivo, lo que se traduce en lo importante de la zona para esta especie, así como la selectividad del arte de pesca utilizado.

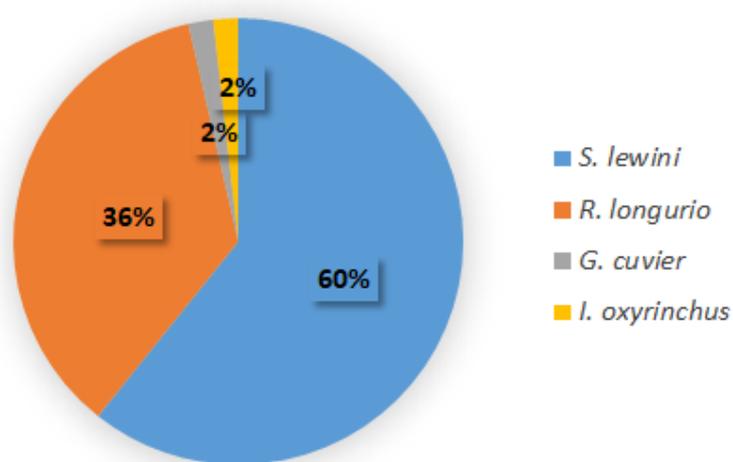


Figura 6. Porcentajes de tiburones capturados en la localidad de La Reforma, Sinaloa.

Todos los individuos de *S. lewini* capturados tuvieron una longitud total (Lt) menor a 150cm, por lo que se consideran organismos juveniles y la abundancia de machos y hembras en proporciones similares 1.125M:1H (Fig. 7). Las mayores capturas se realizaron en diciembre 2015 con 17 organismos, 11 organismos capturados en agosto de 2016 y 6 tiburones capturados en el resto de las salidas. Con esta información del esfuerzo pesquero y las capturas de la especie objetivo, se determinó la CPUE (Captura por unidad de esfuerzo) en 1 individuo/3.2 cada 3.2 horas de pesca o 1 individuos/213 anzuelos.

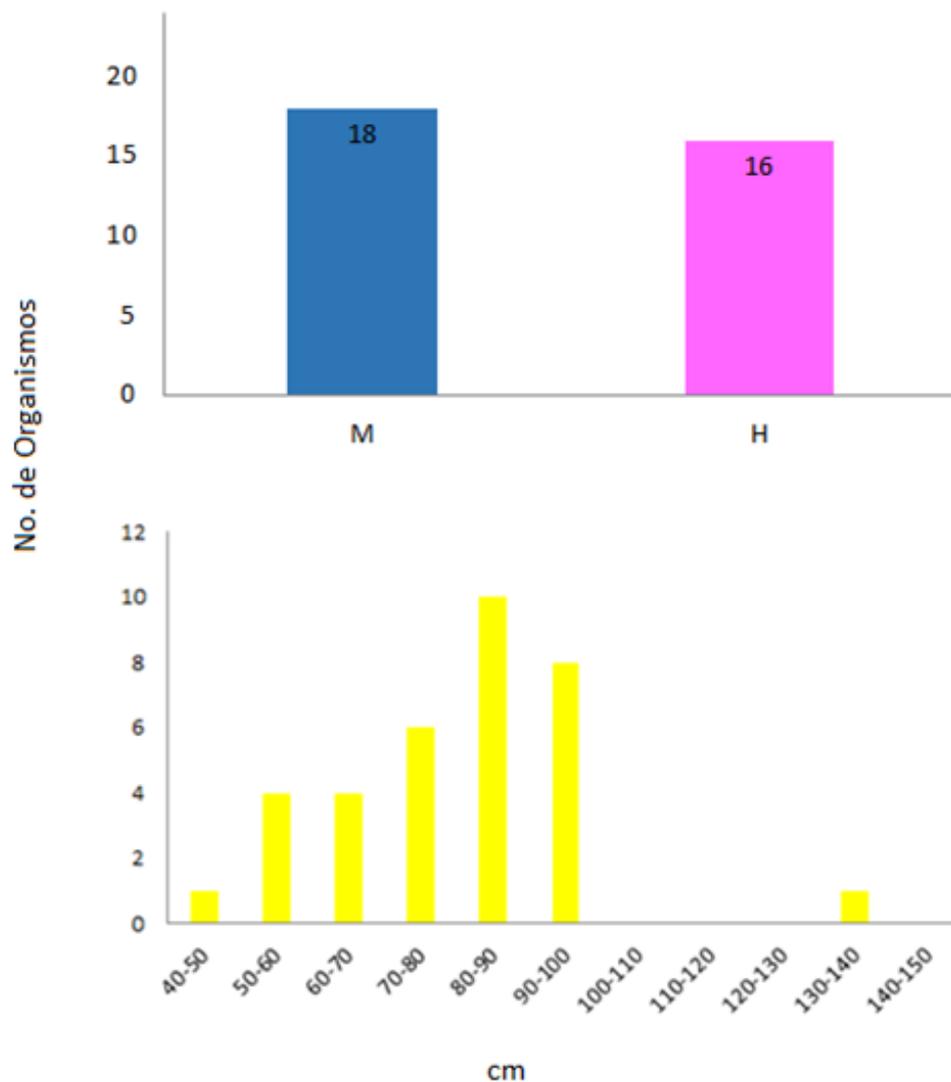


Figura 7. Proporción de machos (M) y hembras (H) capturados en La Reforma. Inferior. Intervalo de tallas de los organismos capturados. La mayoría fue menor a 100 cm con excepción de 1 organismo capturado de 138cm

10.1.1. Marcaje-Recaptura

El marcaje convencional es de gran utilidad para detectar los movimientos de los organismos a grandes rasgos, y ha sido ampliamente utilizado en especies terrestres. En cuanto a tiburones, este tipo de marcaje representa todo un reto, ya que para poder tener cualquier tipo de información se necesita recapturar el tiburón, lo que en el mar puede ser sumamente difícil. Sin embargo, una vez recapturado, nos ofrece información de sus movimientos y permanencia en zonas específicas como en La Reforma.

De los 34 *S. lewini* marcados con marcas epaguetei en la zona, se recapturaron 8 organismos, teniendo un porcentaje de recaptura del 23.5%; siendo este porcentaje de recaptura bastante alto, considerando el número de organismos capturados. Las capturas fueron realizadas mayormente por los pescadores locales.

En la Tabla 2 se muestran las recapturas realizadas y el tiempo transcurrido desde que se colocó la marca, hasta que el organismo fue recapturado. La mayoría de las recapturas se hicieron a los pocos meses después del marcaje, lo que claramente indica que los tiburones permanecen en el área y por ser capturas pesqueras, los tiburones recapturados no permanecen con vida. Lo más interesante, son las dos recapturas que se hicieron muchos meses después del marcaje; el tiburón martillo con la marca 317, un macho de 95.5 cm de LT al momento de ser capturado, fue recapturado 11 meses después en Teacapán, Sinaloa a unos 300km al sur, cerca de la frontera con el estado de Nayarit. Al momento de ser capturado, tuvo una LT de 110cm y fue el único de los tiburones recapturados que se recapturó fuera de la zona de estudio. Por otro lado, el tiburón con la marca 313, marcado en diciembre de 2015, fue recapturado 16 meses después a pocos kilómetros al sur de la boca sur de la Bahía Santa María de La Reforma, dentro del área de estudio. Este organismo era una hembra con una Lt de 92.5cm al momento de la captura y entre 100-110cm al momento de la recaptura. Lamentablemente, los datos biométricos de los organismos al momento de las recapturas no son muy precisos, ya que son estimaciones hechas por los pescadores.

Tabla 2. Recapturas hechas en La Reforma, Sinaloa. Se especifica el número de identificación de la marca, la fecha de captura, la fecha de recaptura y el tiempo que transcurrió entre ambos.

	Número de marca	Fecha de Captura	Fecha de Recaptura	Tiempo recaptura (mes)
1	310	14/dic/2015	15/ene/2016	1
2	312	14/dic/2015	21/feb/2016	2
3	319	15/dic/ 2015	22/feb/2016	2
4	315	15/dic/ 2015	06/mar/2016	3
5	542	26/ag/2016	30/oct/2016	2
6	538	26/ag/2016	01/nov/2016	2
7	317	15/dic/2015	23/nov/2016	11
8	313	14/dic/2015	13/abril/2017	16

A pesar de permanecer cerca del sitio de captura, se observó que los organismos se movieron a los márgenes del área de estudio, desplazándose unos al norte y otro al sur (Fig. 8) y se puede apreciar que todas las capturas se realizaron en la parte central de la zona de estudio, a una distancia variable de la costa, pero muy focalizadas frente a la Isla Altamura. Sin embargo, las recapturas, fueron principalmente hechas al norte de la Boca de la Risión y sur de la Boca de Navolato en los límites de la zona

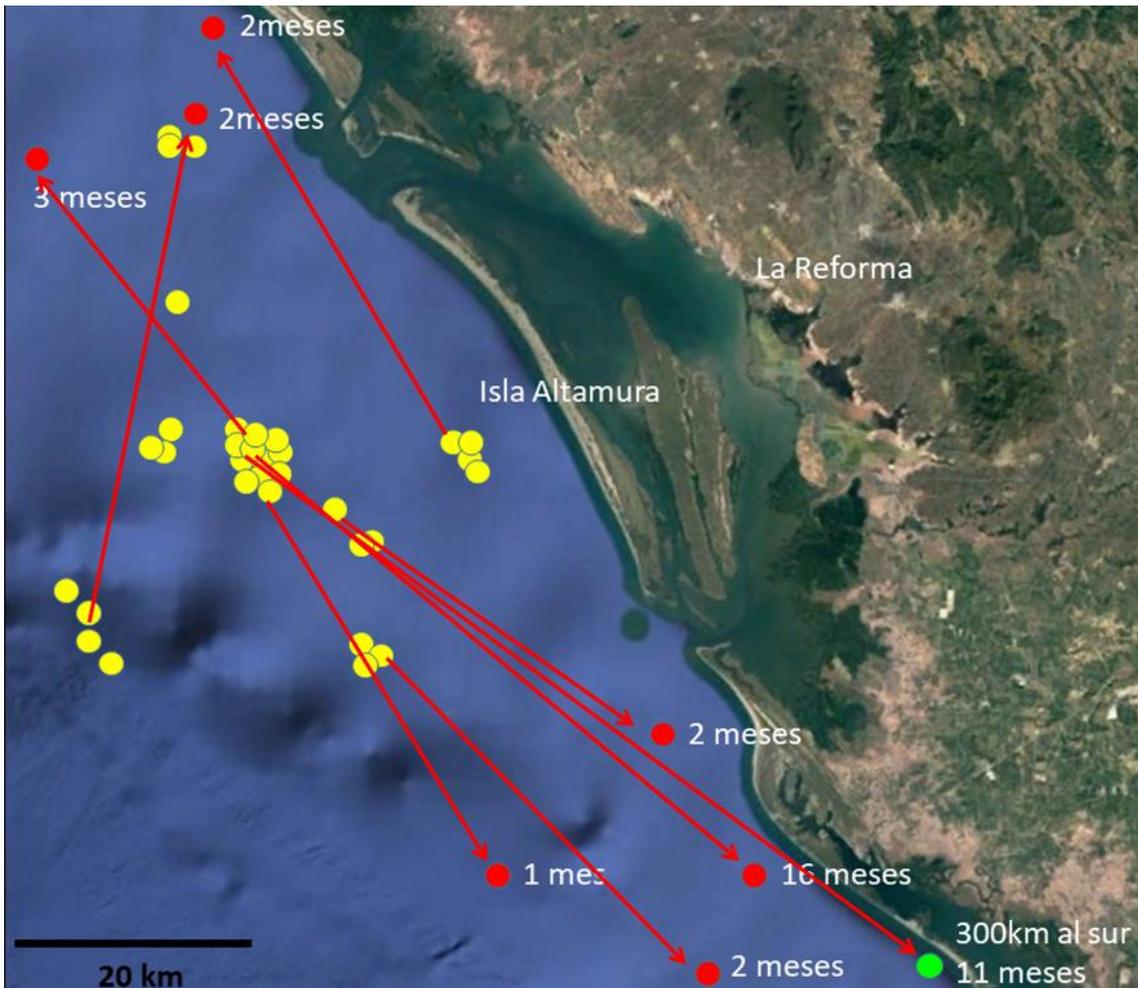


Figura 8. Sitios de captura-recaptura. Los puntos amarillos indican los sitios de captura; los puntos rojos los sitios de recaptura y el tiempo que transcurrió entre ambos.. El punto verde representa la única recaptura realizada fuera del área de estudio en Teacapán, Sinaloa.

10.1.2. Estimación Poblacional

Se utilizó el modelo de captura- recaptura de *Jolly Seber* (Jolly, 1965), para estimar el tamaño poblacional en La Reforma. Primeramente, se estimó la captura total de *S. lewini* en la zona, por parte de las pesquerías, para conocer el número de individuos que se extrajeron durante el periodo de estudio. Para ello, con ayuda de los pescadores, su experiencia y las bitácoras de arribos se estimó que en los meses de mayores capturas, toda la comunidad de pescadores extrae en conjunto aproximadamente 8400 ejemplares de *S. lewini* al mes. Dicho cálculo se determinó multiplicando el número de embarcaciones (35) por el número de días que cada embarcación sale a pescar en promedio al mes (15) por el número promedio de individuos de *S. lewini* que cada pescador pesca en una noche sin importar el arte de pesca (16 organismos). Desde luego, esta estimación es un promedio alto, ya que usualmente no todas las embarcaciones salen en faenas de pesca, y no todos los meses es posible salir 12 días, ya que las condiciones oceanográficas y meteorológicas son muy variables en la zona. Esta estimación de 8400 organismos, como ya se mencionó, se consideró para los meses con mejores capturas: diciembre, enero, febrero y marzo. Para el mes de agosto se hizo una estimación de 6000 individuos capturados por pesca (una menor cantidad ya que la temporada de pesca de camarón está por iniciar de acuerdo a la estimación realizada por los pescadores), 1680 para abril, 30 organismos para julio y noviembre (El periodo de veda de tiburón que comprende los meses de mayo, junio y julio y la temporada de veda de camarón de marzo a septiembre) y únicamente 20 organismos capturados por mes para octubre 2015 y 2016, ya que es pesca incidental de los esfuerzos hechos para la pesca de camarón y escama. Posteriormente se complementó el modelo con los organismos marcados y los recapturados (Tabla 3).

Tabla 3. Superior- Matriz de *Jolly Seber* para estimación poblacional, con el número de organismos macados, número de organismos recapturados, total de organismos extraídos del sistema y el total de organismos liberados. Inferior- Tiempos de captura establecidos con sus correspondientes recapturas.

		Tiempo de Captura									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo de ultima recaptura	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2		1	2	1	0	0	0	0	1	1
	3			0	0	0	0	0	0	0	0
	4				0	0	0	0	0	0	0
	5					0	0	0	0	0	0
	6						0	0	0	0	0
	7							0	1	1	0
	8									0	0
	9										0
	10										
Total marcados (m_t)		0	0	1	2	1	0	0	1	2	1
Total No marcados (u_t)		1	17	0	0	3	0	11	0	0	0
Total capturados ($n_t = m_t + u_t$)		21	8417	8401	8404	8404	30	6011	21	32	1681
Total liberados (s_t)		1	16	0	0	3	0	11	0	0	0

	oct-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	jul-16	ago-16	oct-16	nov-16	abr-17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capturas	1	17	0	0	3	0	11	0	0	0
Recapturas	0	0	1	2	1	0	0	1	2	1

El modelo estima tamaños poblacionales para cada uno de los tiempos de captura, sin embargo, al tener pocos tiburones marcados y recapturados a comparación del número de tiburones extraídos por pesca, el modelo subestima el tamaño poblacional, arrojando cantidades que sabemos que no pueden ser reales. Por ello, se determinó que la estimación poblacional más aproximada a la realidad es la calculada para Julio 2016 por las siguientes razones:

- 1- Con base en el conocimiento empírico de los pescadores y la talla de los organismos capturados, se puede asumir que los neonatos de *S. lewini* en la zona, nacen en los meses de abril y mayo, por lo que, para julio toda la cohorte de ese año, ya forma parte de la población de esa determinada área.

- 2- El periodo de veda para la pesca de tiburón en el Pacífico Mexicano, es durante los meses de mayo, junio y julio, por lo que para el mes de julio 2016, los tiburones de la zona llevan al menos dos meses sin ser sometidos al estrés pesquero, por lo que se supone que las poblaciones deberían de estar lo más intactas y estables que en cualquier otra temporada del año.

Con base en lo anterior, se estimó el tamaño poblacional de La Reforma, en 1922 individuos de esta especie para julio de 2016.

10.2 Bahía de La Paz

Al igual que en La Reforma, se hicieron 6 expediciones de marcaje, con la diferencia de que la duración de estas fue variable, teniendo un mayor número de días efectivos de pesca y todos ellos fueron realizados durante 2017. En febrero, marzo y mayo, las salidas tuvieron una duración de 3 noches de pesca; en Julio se realizó la salida más larga con 10 días consecutivos de pesca para aprovechar los últimos días del periodo de veda y en noviembre y diciembre tuvieron una duración de 2 y 3 días respectivamente. Cada salida tuvo una duración de 10-12 horas aproximadamente, ya que la distancia a los puntos de pesca es mucho menor en comparación que los puntos de pesca de La Reforma. Las capturas en BLP fueron más esporádicas y como empíricamente se sabe que la cantidad de tiburones de este lado del GC es menor que en la plataforma continental de Sinaloa, se utilizó un palangre con mayor número de anzuelos. Se hicieron en total 156 lances, correspondientes a 156 horas efectivas de pesca, y cada lance consistió en un palangre de 600m aproximadamente con 75 anzuelos.

Se capturaron 21 tiburones de 4 especies diferentes: 8 organismos son de la especie objetivo tiburón martillo *S. lewini*, 9 tiburones bironche *R. longurio*, 3 tiburones martillo *S. zygaena* juveniles y 1 tiburón mako *I. oxyrinchus* juvenil (Fig. 8).

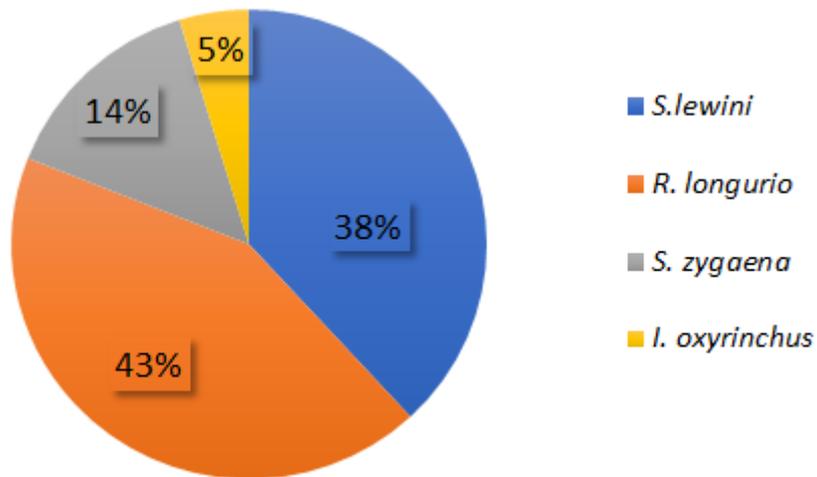


Figura 9. Porcentaje de capturas en Bahía de La Paz.

Los ocho *S. lewini* capturados, tienen un estadio de edad entre juveniles y subadultos, oscilando entre los 90-166cm, con una proporción 1:1 entre sexos (Fig. 9). Con el esfuerzo pesquero realizado y las capturas obtenidas, se determinó la CPUE para tiburón martillo *S. lewini* en 1 tiburón por 19.5 horas de pesca, o 1 tiburón martillo por cada 1462 anzuelos; una CPUE mucho más baja que en La Reforma. La captura incidental consistió en el pez dorado (*C. hippurus*) y mayormente el bagre (*B. panamensis*).

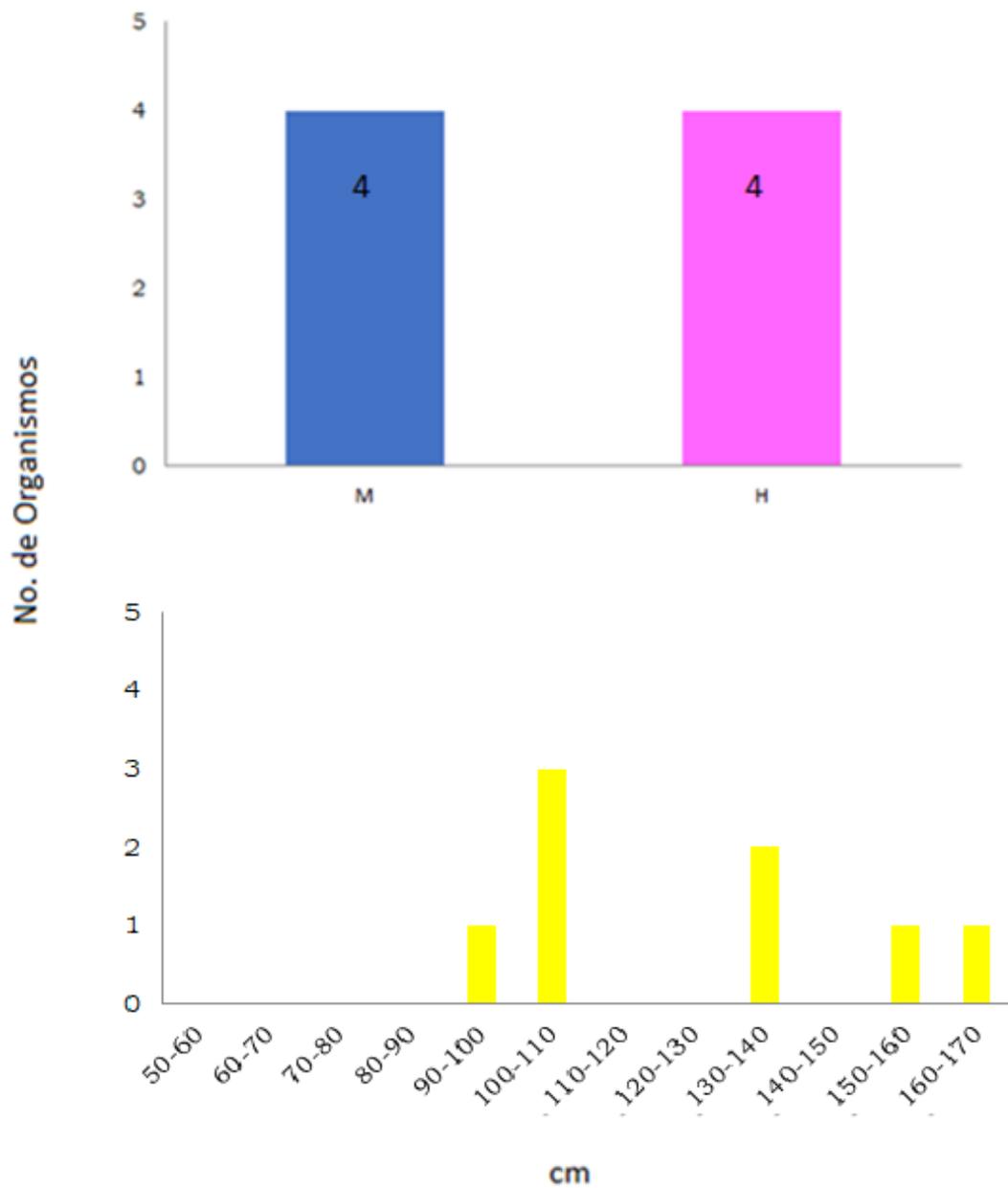


Figura 10. Superior: Proporción de sexos en las capturas de *S. lewini* en BLP. Inferior: Intervalo de tallas en las capturas de *S. lewini* en BLP. Los organismos se encuentran entre las tallas que caracterizan a los juveniles y subadultos. Es importante destacar la ausencia de organismos neonatos en las capturas.

10.2.1. Marcaje-Recaptura

La cantidad de tiburones martillos marcados en BLP fue significativamente menor que en La Reforma. Se marcaron solo seis tiburones con marcas convencionales (de los ocho capturados, dos murieron en el arte de pesca) y solo una recaptura, dando un porcentaje de recaptura del 16.6% (Tabla 4). El tiburón macho con la marca 397, fue marcado en noviembre de 2017 al sur de Las Animas al norte de Isla San José, con una talla de 166cm (el más grande capturado en este estudio), y pescadores locales lo recapturaron el 21 de febrero frente a las costas de Migriño, a 25km al norte de Cabo San Lucas en la costa occidental de la Península de Baja California Sur.

Tabla 4. Detalles del marcaje y recaptura en BLP utilizando marcas convencionales.

	Número de marca	Fecha de Captura	Fecha de Recaptura	Tiempo transcurrido entre marcaje y recaptura
1	397	13-noviembre-2017	21-febrero-2018	3 meses

A pesar de ser la última recaptura reportada para este estudio, resulta de suma importancia, no solo por ser la única recaptura reportada para tiburones marcados en BLP, sino por la travesía que hizo este individuo (Fig. 11). Con una trayectoria estimada de más de 400km, este organismo salió del área de crianza en BLP y salió del GC con dirección al norte. Curiosamente, este trayecto lo hizo cuando la temperatura es más baja en el GC, y contrario a lo que es de esperarse, que busque aguas más cálidas, se fue en dirección al Pacífico donde las aguas frías de la Corriente de California tienen gran influencia.



Figura 11. Posible ruta del tiburón martillo macho con la marca 397. En la parte superior, el círculo amarillo indica el punto de marcado, al sur de Las Ánimas. La línea roja es la ruta hipotética que realizó el tiburón a lo largo de 3 meses, para terminar en el círculo rojo, donde fue recapturado, frente a Migriño, BCS.

10.2.2. Marcaje y receptores Acústico

De los ocho individuos de *S. lewini* capturados, solo se les colocó marcas acústicas a cuatro de ellos, ya que son los que se encontraban en mejores condiciones. El primero de ellos se marcó en El Cajete, al sur de BLP, en la zona de observación de tiburón ballena en abril de 2017. Dos más se marcaron en Tarabillas, en la costa oeste de BLP al norte de San Juan de la Costa en julio 2017 y el último se marcó en Las Animas en diciembre de 2017. En la zona ya estaban previamente instalados ocho receptores acústicos y uno más fue instalado en la zona de Tarabillas. Hasta el momento de elaboración de este documento, ninguno de ellos presentaba detecciones acústicas emitidas por las marcas colocadas (Fig. 12).

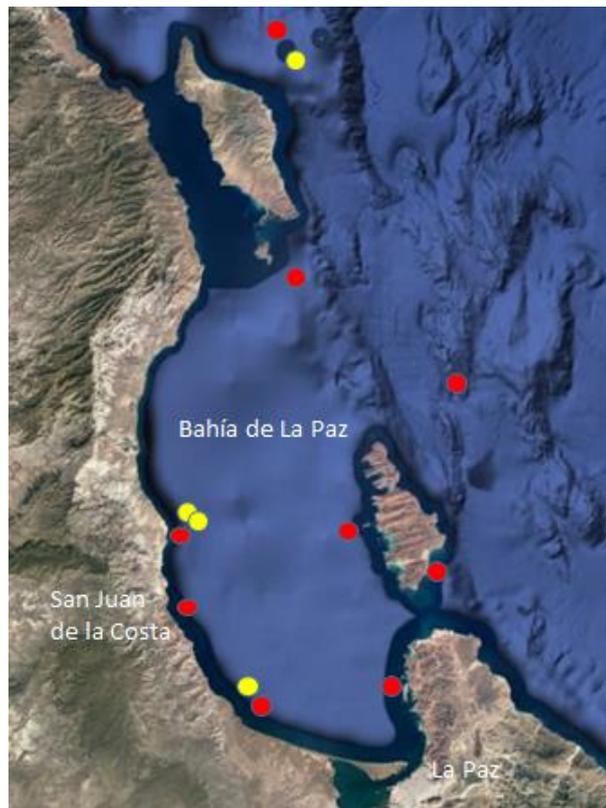


Figura 12. Los puntos rojos representan las ubicaciones de los receptores acústicos en BLP, y los puntos amarillos los sitios de captura donde se colocaron las marcas acústicas a los organismos.

10.2.3. Uso de hábitat

Tres de las especies capturadas en BLP, mostraron una diferenciación en cuanto a la zona donde fueron capturadas. Esto fue identificado ya que en los sitios de pesca, no hubo traslape de especies, por lo que es posible que los organismos de diferentes especies, presenten segregación en cuanto a áreas de crianza y reproducción (Fig. 13).

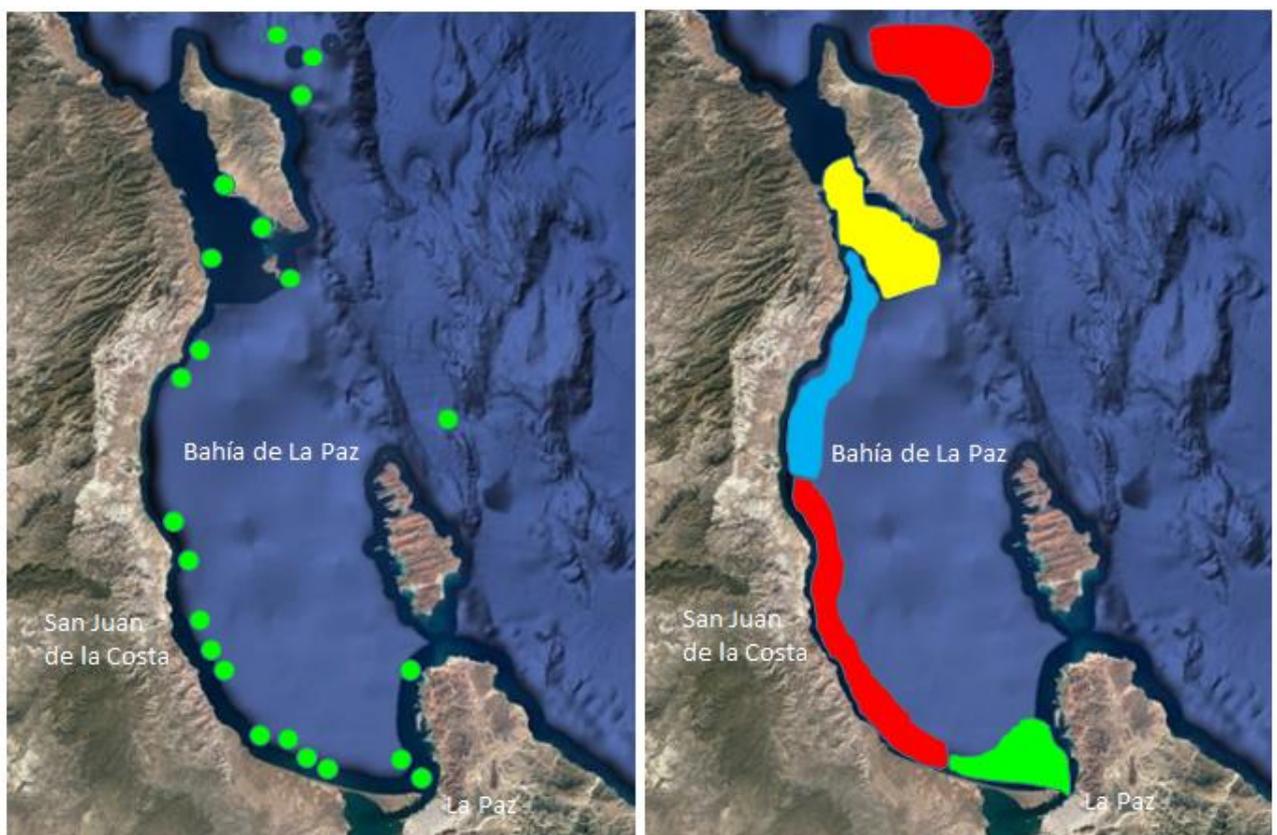


Figura 13. Izquierda: Los puntos verdes indican todos los sitios donde se hicieron esfuerzos de pesca en BLP. Derecha: Regionalización de especies basadas en las capturas de tiburones en BLP. En la región verde solo fueron capturados neonatos y juveniles de tiburón bironche *R. longurio*. Las áreas rojas fueron donde se capturaron los organismos de *S. lewini*. En la región azul únicamente se capturaron adultos de *R. longurio*, mayores a 90cm, y todas las hembras capturadas presentaron marcas de cópula. En la región amarilla se capturaron únicamente *S. zygaena*.

10.3 Extracción de ADN

En octubre de 2017 se realizó la extracción de ADN de los tejidos muestreados en el Laboratorio de Genética de Organismos Acuáticos del ICMYL de la UNAM. Se secuenciaron 17 muestras de ADN mitocondrial, de las cuales 16 pertenecen a La Reforma y únicamente una muestra corresponde a un organismo capturado en BLP. La región control utilizada en este estudio fue de 900 pares de bases (pb). En cuanto al ADN nuclear, se utilizaron 5 microsatélites para 18 muestras, de las cuales 15 corresponden a La Reforma y 3 a BLP. La cantidad de muestras utilizadas, dependió de un gran número de factores, entre los cuales los más importantes fueron los siguientes: 1) la preservación y la calidad de las muestras, que va relacionado con el deterioro del ADN; 2) no todas las muestras pudieron ser utilizadas para extracción. 3) La cantidad de ADN extraída no siempre es la suficiente para poder ser amplificada y secuenciada; 4) Errores en el procedimiento de purificación, utilización de reactivos y cantidades de los mismos, así como errores al momento de la secuenciación, hacen que sea complicado trabajar con el 100% de las muestras colectadas. Las muestras genéticas para los análisis de ADNmt fueron tratadas como una sola población, sin diferenciar entre La Reforma y BLP.

10.4 ADN mitocondrial

La cantidad de pb utilizadas en este estudio para la región control del ADNmt (900pb), es mayor a las 548pb utilizadas por Duncan *et al.* (2006) y Nance *et al.* (2011) y las 714 utilizadas por Castillo Olguín *et al.* (2012), lo que puede aportar resultados adicionales y complementarios al análisis, ya que mientras mayor sea el número de pb, la resolución es mayor. La cantidad de pb utilizadas es importante, que en este estudio de las 17 secuencias analizadas, se encontraron dos haplotipos diferentes, cuya diferencia radica únicamente en

un solo par de bases nitrogenadas. Como se muestra en la Figura 14, del segmento de las secuencias de ADNmt utilizadas, la única diferencia genética que se encontró para las secuencia de los 17 organismos, está ubicada en la posición 513, siendo el único sitio polimórfico de la secuencia. En esta posición, 14 organismos presentan la base Timina y 3 de ellos la base Citosina, siendo esta la única diferencia en las 900 pb.

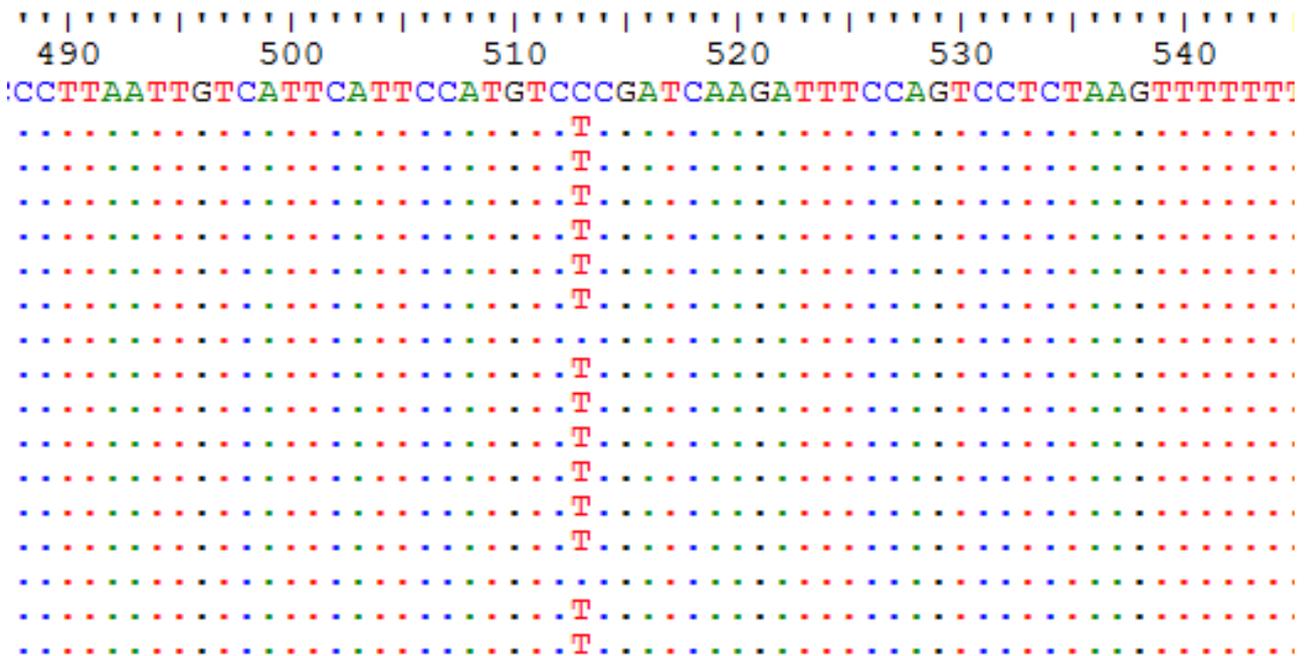


Figura 14. Fragmento de las secuencias de ADNmt utilizadas para este estudio. En la posición 513, se encuentra la única diferencia genética entre las 900pb utilizadas..

Basado en lo anterior, utilizando el software DNASP 5, se encontraron 2 haplotipos en la región control del ADNmt analizado, dando una diversidad haplotídica de 0.3069, lo que quiere decir, que aproximadamente el 30% de la población tiene una composición diferente. Ya que la región control del ADNmt es no codificante, la diferencia entre un haplotipo y otro puede ser imperceptible fenotípicamente. Sin embargo, la presencia de dos haplotipos diferentes puede representar una ventaja selectiva para uno de ellos en caso de cambios ambientales o cualquier tipo de circunstancia a la cual se requiera

una respuesta adaptativa. En cuanto a la diversidad nucleotídica, esta fue sumamente baja, con un valor de 0.00034, lo que resulta lógico, si consideramos que únicamente hubo un sitio polimórfico dentro de toda la secuencia. Es importante recalcar, que los dos haplotipos encontrados estuvieron presentes en La Reforma, y desde luego, solo uno de ellos en BLP, porque solo se analizó una muestra de ADNmt de esta zona.

También se realizó la Prueba D de Tajima, y se obtuvo un valor de 0.08515, $P > 0.10$. Este valor está determinado, por un número mayor de haplotipos que sitios de segregación, lo que puede ser efecto de una repentina disminución en la población. Al ser, el valor de la prueba, positiva y no significativa, es señal de un cuello de botella genético, debido a la disminución en la variabilidad genética. Concorde a esto, el resultado de la prueba de Fu y Li, es de $D^* = 0.677$ y de $F^* = 0.596$ ambos siendo no significativas con un $P > 0.10$.

10.5 Microsatélites

Para los análisis con microsatélites si fue necesario diferenciar a los organismos de las dos zonas, para ver si existe alguna diferencia entre ellas, en los loci del ADN nuclear utilizados. El AMOVA dio un valor de $F = 0.80$, $P = 0.25$, indicando que no existen diferencias significativas entre las localidades de La Reforma y Bahía de La Paz, apoyado por el valor de $F_{st} = -0.013$, indicando que no existe diferencias genéticas entre ambas zonas.

Para complementar lo anterior, se determinó el número de poblaciones con el programa STRUCTURE, obteniendo una $k = 1$, lo que indica claramente que existe conectividad genética entre La Reforma, Sinaloa y Bahía de La Paz.

11. DISCUSIÓN

La Reforma y Bahía de La Paz, son dos sitios ubicados a una latitud similar, pero separados por 230km de la cuenca del Golfo de California, que a pesar de estar muy cerca uno del otro, presentan grandes diferencias en cuando a su dinámica y características oceanográficas, así como con su interacción con el margen costero (Álvarez- Borrego,1983).

La Reforma, movimientos y tamaño poblacional

La Reforma es una zona sumamente productiva debido a un abundante aporte de nutrientes por parte de la costa, que fluyen al mar siendo arrastrados por las abundantes lluvias. La plataforma continental es amplia y el sustrato principalmente limoso, lo que brinda una extensa área de alimentación para un gran número de organismos, tanto dentro como fuera de la bahía. Estas características hacen de La Reforma, una de las regiones pesqueras más importantes del país y el campo pesquero más grande de México, con cerca de 1000 embarcaciones menores que aprovechan los diferentes recursos por temporadas, principalmente camarón, jaiba, escama y tiburón (Flores Cárdenas, 2011). El abundante alimento, la extensa plataforma y una bahía protegida de 54,000 hectáreas bordeada por manglar, proporcionan las condiciones ambientales para que La Reforma sea una zona ideal para un área de crianza de tiburones. Históricamente La Reforma ha sido sumamente abundante en tiburones, y mediante evidencias anecdóticas de varias generaciones de pescadores locales, se sabe que hasta la década de los 70's había una gran abundancia de tiburones de muchas especies, tanto adultos, como juveniles y neonatos, dentro de la bahía a muy poca profundidad, por lo que no era necesario hacer faenas de pesca muy extensas y alejadas de la costa (Amezcuca y Bellgraph, 2014). Con el paso de los años y el aumento de embarcaciones, tecnificación en las artes de pesca, desarrollo de asentamientos urbanos, contaminación urbana y agrícola, estrés y turbulencia causado por motores marinos, los tiburones fueron saliendo de la bahía,

desplazándose hasta la plataforma continental, donde se los encuentra actualmente (Flores Cárdenas, 2011).

Las tallas de las capturas (Fig 7), indican que en la zona se encuentran organismos neonatos, identificados por su talla entre 40-60cm y presentando cicatriz umbilical. Estos organismos de días o semanas de nacidos, permanecen mayormente cerca del fondo durante el día, y se desplazan en la columna de agua durante la noche, manteniéndose en la misma zona, ya que a pesar de ser completamente independientes, durante esta etapa de su vida son vulnerables a los depredadores. Es probable que los organismos de estas tallas, hayan nacido cerca de la misma zona en donde fueron capturados, además de que la proporción de sexos es similar. Este es un indicador importante, ya que se ha reportado que *S. lewini* suele segregarse por sexos y tallas en sitios de agregación de juveniles y adultos, por lo que al tener capturas similares de ambos sexos, quiere decir que en la zona aún no existe esta segregación (Klimley, 1987). Además de ser una zona muy importante para la especie objetivo, es indiscutible que es igualmente importante para otras especies de tiburones como *R. longurio* el cual, también es capturado en grandes cantidades y en tallas pequeñas (Corro Espinosa, 2011). Tanto en La Reforma como en BLP, ambas especies *R. longurio* y *S. lewini*, fueron las dos especies más capturadas, lo que puede ser un indicador de que las hembras de ambas especies, seleccionan hábitats similares para tener a sus crías.

El GC en general presenta características particulares marcadas en dos temporadas; temporada cálida de mayo-octubre y la temporada fría iniciando a finales de noviembre a principios de abril. A pesar de las diferentes condiciones oceanográficas en los meses de agosto y diciembre (temporada cálida e inicio de la temporada fría respectivamente) en ambos meses se tuvieron la mayor cantidad de capturas, por lo que es probable que las capturas no hayan sido determinadas por la TSM, aunque un análisis para probar si hubo o no relación no fue realizado. (Lluch-Cota *et al.* 2010). De igual manera, en julio 2016 durante la veda (cuando los tiburones deberían de ser más abundantes por la ausencia de pesca) no se capturaron tiburones de ninguna especie lo que resultó inusual. Debido a que en La Reforma la mayor cantidad de capturas se realizaron en meses específicos y en días consecutivos, es

posible que estas capturas estén más relacionadas con los patrones de movimientos de los tiburones dentro de la zona, que con las condiciones del medio.

Respecto a los movimientos de los tiburones en La Reforma, con base en las recapturas, se pudo observar que los tiburones aunque fueron capturados en la parte central, justo frente a la Isla Altamura, se desplazaron a la parte norte y sur de la zona de estudio. Aún dentro del área, ninguna de las recapturas confirmadas se hizo a menos de 20 km de donde fue capturado el organismo y la mayoría de las recapturas se hicieron al poco, excepto por un organismo que permaneció en la zona por 16 meses antes de ser recapturado (Tabla 2). El corto tiempo entre captura y recaptura que se presentó para la mayoría de los individuos puede deberse a los esfuerzos de captura, aunque con la información de esta investigación, no es posible afirmarlo. La plataforma continental de La Reforma, al ser amplia, limosa y poco profunda, no solo es un ecosistema ideal para los tiburones de corta edad y sus presas, sino también para la extracción pesquera de todos ellos (Salomón Aguilar, *et al.* 2009). El despliegue de embarcaciones mayores y menores, así como el uso de diferentes artes de pesca, en esta plataforma es la más importante del país en cuanto a extracción de camarón se refiere. Los arrastres de camarón, como ya es sabido, son responsables de grandes disturbios del fondo marino, ocasionando destrucción de los ecosistemas bentónicos, disturbios y turbulencia en la columna de agua, además de que en esta zona, es común capturar tiburones pequeños en las redes de arrastre utilizados por las embarcaciones mayores y menores (Anislado y Robinson, 2001, López, *et al.* 2012). Dentro de la bahía y justo en el margen exterior de Isla Altamura operan cerca de 1000 embarcaciones menores, principalmente dedicadas al arrastre camaronero en temporada. En la plataforma continental, operan las flotas de altura de Mazatlan, Topolobampo y San Carlos, Sonora (Fig. 15)

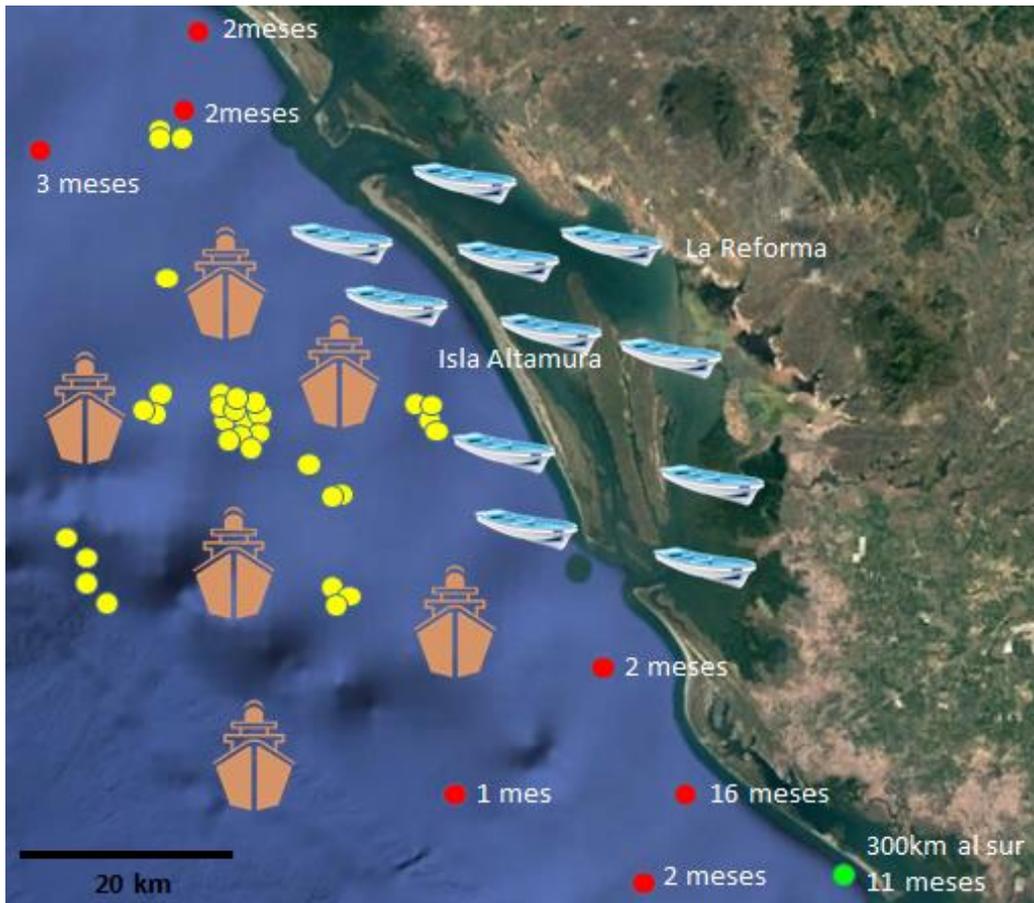


Figura 15. Los puntos amarillos son los sitios de captura y los rojos los sitios de recaptura en el área de La Reforma, Sinaloa. Se muestran los sitios de pesca de acuerdo al tipo de embarcación.

El único tiburón registrado que salió del área de estudio, recapturado en las costas de Tecapán, Sinaloa, 300km al sur de La Reforma, fue parte de los 9 organismos mayores a 90cm capturados en esta zona. Dicha talla ya es características de organismos juveniles, por lo que tienden a salirse de sus áreas de crianza, buscando otro tipo de alimentos para satisfacer sus necesidades energéticas (Bush y Holland, 2002, Hoyos *et al.* 2014). La costa del Pacífico desde La Reforma hasta Colima, presenta condiciones similares, y se encuentra el corredor marítimo Marismas Nacionales-La Reforma, lo que puede ser un puente de conectividad entre áreas de crianza (Amezcuca y Bellgraph, 2014). El movimiento por parte de un solo organismos de La

Reforma a donde fue capturado en Teacapán, no es suficiente para determinar un flujo de individuos entre La Reforma y las áreas de crianza con similares características más al sur. Sin embargo, Castillo-Olguín (2012) utilizando micrósatelites y ADNmt, encontró que existe un flujo de individuos tanto de Sinaloa hacia los estados del sur como Nayarit, Michoacán inclusive Oaxaca, y de estos mismos estados hacia Sinaloa, existiendo un mayor flujo de norte a sur.

Respecto a la estimación poblacional de *S. lewini* en La Reforma, el modelo de *Jolly Seber* fue escogido por su versatilidad en cuanto a su aplicación para técnicas de marcaje y recaptura, ya que es posible utilizarlo teniendo un número bajo de capturas (Pradel, 1996). Aun cuando es de los primeros modelos para este tipo de metodologías y se considera desactualizado, es el modelo adecuado para utilizar acorde a nuestros resultados, debido a que permite utilizar una población abierta y tiempos de captura variables, así como un número bajo de organismos capturados. Al considerarse para poblaciones tanto abiertas como cerradas, es fundamental para considerar a todos los organismos de La Reforma, ya que como se mencionó anteriormente, es una zona cuya población residente tiene influencia de otras poblaciones, y las corridas son el principal objetivo en las pesquerías. Por lo anterior no solo se captura a los organismos que residen en la zona, sino también todos aquellos que se desplazan sobre ella, ya sea que provengan del norte o del sur. Es por ello, que la estimación de las capturas realizadas por los pescadores son tan altas (8400 organismos al mes durante los meses de mayor captura), ya que contemplan principalmente a las corridas transitorias de tiburones. Al tener en este trabajo como objetivo los organismos más pequeños, las artes de pesca utilizadas son más selectivas para estos organismos, además de que los esfuerzos de pesca se realizaron en momentos neutrales (cuando no hubo corridas), para enfocar nuestro marcaje en organismos residentes de la zona. La estimación de capturas pesqueras para los meses más bajos, fue considerando la pesca incidental, y teniendo en cuenta que el esfuerzo pesquero está mayormente enfocado en otro recurso como el camarón por ejemplo y para los meses de veda, únicamente se consideró la pesca incidental en los esfuerzos de otros recursos como escama. De esta manera y para cada

uno de los tiempos de captura, se sumó el número de tiburones extraídos por las pesquerías, más el número de tiburones extraídos por el equipo de marcaje. Con esto en cuenta, la estimación poblacional para *S. lewini* en La Reforma, de 1922 organismos, se considera aceptable, basados en nuestras observaciones durante los muestreos en la zona y la actual situación poblacional de la especie reportada por otros autores. Por ejemplo Nance *et al.* (2011) usando tasa mutacional en 15 microsatelites y ADNmt, estimo que la población actual de *S. lewini* en BLP y Mazatlán, además de otros sitios del POT, ha disminuido en tres órdenes de magnitud: para BLP, la estimación histórica de hace 8400 años, era de 39,627 organismos, y su estimación actual fue de 435 organismos; para Mazatlán hace 6181 años la estimación fue de 43,551 organismos y la actual de solo 348 organismos, teniendo una disminución del 99% de la población. Si consideramos que la población de La Reforma es mayor que la de los dos sitios antes mencionados (BLP y Mazatlán), basándonos en las características de la zona, la extracción pesquera y las capturas hechas para marcaje (425% más en La Reforma que en BLP), la estimación poblacional obtenida con el modelo de *Jolly-Seber* en La Reforma, resulta en el mismo orden de magnitud. Lo anterior suponiendo que la población efectiva en cada sitio, es proporcional al número de organismos capturados por marcaje, ya que el esfuerzo en ambas zonas fue muy similar (Pradel 1996). Si la población actual para BLP estimada por Nance (2011) es de 435 organismos y se capturaron para esta investigación ocho organismos, los 34 organismos capturados por marcaje en La Reforma representarían una población efectiva de 1857 organismos. Desde luego este es una estimación preliminar y con cálculos muy básicos, pero arrojan un valor muy similar a los 1922 estimados con *Jolly-Seber*.

Movimientos de *S. lewini* en Bahía de La Paz

Para BLP, como ya se mencionó anteriormente, las capturas fueron significativamente menores tanto para *S. lewini* como para otras especies, con solo 21 organismos a diferencia de los 57 capturados en La Reforma. *S. lewini* fue la segunda especie más capturada con solo 8 organismos. A primera vista, dadas las condiciones oceanográficas diferentes que presentan ambas zonas no es sorprendente que la cantidad de organismos sea mayor en La Reforma, ya que son ambientes biológicamente más productivos, teniendo una concentración de clorofila promedio es de 2 mg/ m³ y en BLP donde es de 0.6 mg/m³ (Espinoza y Holguín, 2007). Por lo mismo, en las costas de Sinaloa se lleva a cabo una pesquería a nivel industrial y en las costas de BCS, todas las pesquerías son principalmente artesanales. Además de la relación entre la cantidad de nutrientes disponibles y el número de organismos, la pesquería de tiburones en BCS ha tenido un deterioro mucho más rápido que en otras partes. Klimley y Nelson (1984) reportan grandes cantidades de *S. lewini* en El Bajo Espíritu Santo cuando llevaron a cabo los primeros estudios de telemetría acústica en la zona. De igual manera, entre los pescadores locales, bajos como Gordo Banks frente a las costas de San José del Cabo y Las Animas en Isla San José al norte de BLP, solían ser puntos importantes de congregación de esta especie, y aunque es posible seguir encontrándolos en dichos sitios, su presencia es mucho más esporádica. Los pescadores tiburoneros en general, ubicados desde el norte de BLP hasta la zona del Cabo, reportan cada vez menos capturas de tiburones y ausencias de estos por periodos de tiempo más prolongados, lo que sucede en mucho menor medida en la costa este del GC.

Los *S. lewini* marcados en BLP presentaron una talla en promedio mayor que los capturados en La Reforma (Fig. 16), y a pesar de haber realizado esfuerzos de marcaje en todas las temporadas del año, no se encontraron organismos neonatos. Aunque por la pesca artesanal se sabe que están presentes en alguna temporada del año, para esta investigación no fue posible tener acceso a ellos, ni determinar su presencia en la zona. Con base a las capturas, podría parecer que BLP es un área de crianza secundaria, en donde se concentran organismos juveniles, con un rango de movilidad mayor que los organismos de menor edad de La Reforma (Anislado y Robinson, 2001). Evidencia de esto, es

el organismo con la marca 0397 (única recaptura que se hizo de organismos marcados en esta área) que se desplazó desde Las Animas hasta la parte sur de la costa occidental de BCS (Fig. 11). Este tipo de movimiento no había sido registrado para este especie, y aunque las razones de este desplazamiento no se conocen, el hecho de haber salido de su área de crianza y haberse desplazado más de 420km refleja que eventualmente pueden realizar desplazamientos mayores posiblemente en búsqueda de alimento.(Bush y Holland, 2002; Jorgensen *et al.* 2009). Otro ejemplo de esto, fue reportado por Hoyos Padilla *et al.* (2014) en donde mediante marcas de archivo, pudieron rastrear los movimientos de un juvenil de *S. lewini*, marcado en la parte norte de BLP, con la diferencia de que este se desplazó hacia el norte del GC, llegando hasta el sur de la zona de las grandes islas y regresó a BLP 10.5 meses y 3350 km después. Dos movimientos muy diferentes de organismos de tallas similares, sin embargo dos movimientos de grandes distancias, capturados en puntos cercanos (Speed, *et al.* 2010, Duncan y Holland, 2006).

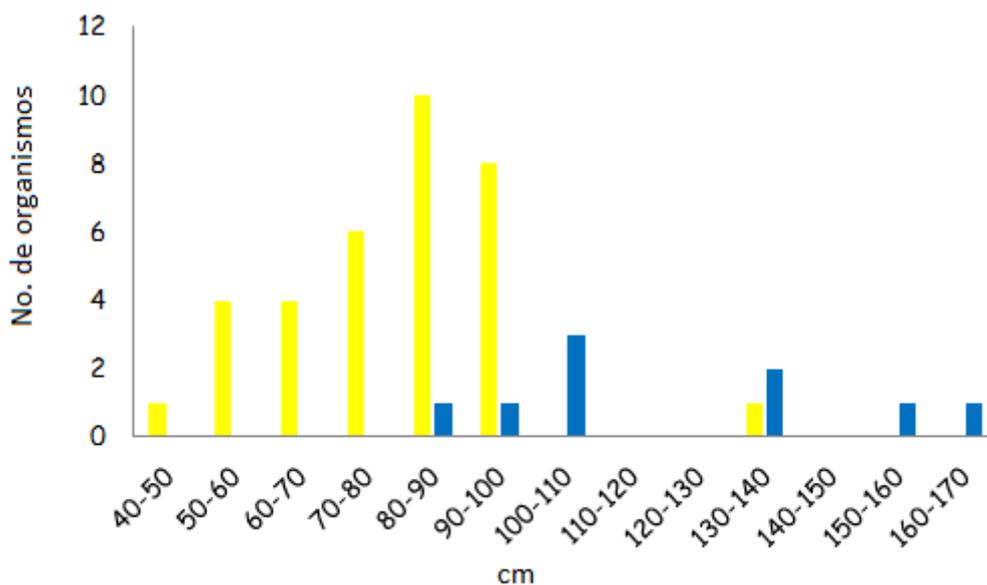


Figura 16. Estructura de tallas de los *Sphyrna lewini* capturados. En amarillo, los capturados en La Reforma y en azul, los capturados en BLP. Se ve claramente que los organismos capturados en BLP, son en promedio mayores a los capturados en La Reforma.

Diversidad y flujo genético

En cuanto a los análisis de ADNmt, a pesar de haber utilizado un tamaño de muestra reducido, la baja diversidad nucleotídica representa una muy baja variabilidad genética. Estos niveles tan bajos de variabilidad genética tienen varias interpretaciones, dentro de las cuales las más importantes están dadas por una relación parental o filial o una pérdida del acervo genético ocasionado por una disminución en la población; esto puede ser detectado, ya que el ADNmt tiene una tasa de mutación sumamente baja, por lo que es un fragmento de ADN altamente conservativo (Ramírez *et al.*, 2007). Basándonos en el valor de la prueba D de Tajima de 0.08515, $P > 0.10$, de acuerdo con Castillo-Olguín *et al.* (2012), este valor positivo y no significativo se obtiene al tener una pérdida de los haplotipos más raros, lo que deja una similitud genética, que casi siempre es ocasionado cuando ocurren cuellos de botella genéticos. Como se mencionó anteriormente, de acuerdo a Nance *et al.* (2011), de 6 a 8 mil años hasta la fecha, o Castillo-Olguín (2012), de 2000-2500 años, la población ha disminuido cerca del 99% en la zona, por lo que la pérdida de diversidad genética, podría ser atribuida a la extracción pesquera. En este estudio de 900 pb utilizadas solo una base mostraba diferencia entre algunas secuencias (Fig. 14), teniendo en este trabajo la menor diversidad nucleotídica de todos los trabajos que se han realizado de esta especie en la zona (Duncan 2006, Nance, 2011; Castillo-Olguín, 2012). Sin embargo, este trabajo fue también el que utilizó una menor cantidad de muestras, pero a la vez, fue el que usó el fragmento más grande de la región control de ADNmt. Se encontraron dos haplotipos, los dos presentes en ambas zonas, con una diversidad haplotípica de $h=0.309$. Nance *et al.* (2011) también encontró dos haplotipos en la boca del GC y Castillo-Olguín (2012) encontró 4 haplotipos diferentes con una diversidad haplotípica de $h=0.493$, así que es posible que el resultado obtenido en este trabajo, este limitado por el número de muestras analizadas.

Duncan (2006) establece que las poblaciones genéticas de *S. lewini* están comúnmente separadas por cuencas oceánicas, ya que presentan cierto grado

de filopatría a sitios determinados para su reproducción y alumbramiento y suele ser una especie mayormente costera que oceánica. A pesar de que este autor considera las grandes cuencas trans-oceánicas principalmente, es posible que con el tiempo, cuencas pequeñas como ambas costas del Golfo de California, por su profundidad y diferentes características oceanográficas puedan representar una barrera para estos organismos, lo que pudiera ocasionar un aislamiento y por lo tanto, baja diversidad genética. Castillo-Olguín(2012) encontró una diferencia haplotídica entre los individuos de esta especie capturados en Sinaloa y los encontrados en la costa occidental de la península de Baja California, por lo que sí existe una variación, puede ser identificada con el uso de ADN nuclear, ya que este tiene una tasa de mutación mucho más elevada que el ADNmt y los cambios en la estructura genética puede detectarse a una escala de tiempo mucho menor (Hancock, 1999). La cantidad de pb utilizadas en este estudio para la región control del ADNmt (900pb), es mayor a las 548pb utilizadas por Duncan *et al.* (2006) y Nance *et al.* (2011) y las 714 utilizadas por Castillo Olguín *et al.* (2012), lo que puede aportar resultados adicionales y complementarios al análisis, ya que mientras mayor sea el número de pb, la resolución es mayor.

Para el análisis con microstalites, y diferenciando ambas zonas con base en la estructura genética y la diferencia en la frecuencia de alelos, se determinó un índice de fijación $F_{st} = -0.01378$. De acuerdo a Holsinger y Weir (2009), el valor de F_{st} tiene un rango entre 0-1, cero representando una completa panmixia y el valor de 1 implica que toda la variación genética esta explicada por la estructura poblacional y que ambas poblaciones no comparten diversidad genética. Igualmente establecen que cuando los valores de F_{st} son menor a cero, estos deberán ser interpretados como cero. Los resultados del AMOVA (0.080, $P=0.25$) y STRUCTURE $K=1$, indican claramente que no existe diferenciación genética entre los organismos de BLP y La Reforma, por lo que es evidente que los organismos de ambas zonas pertenecen a la misma población, y por lo tanto existe conectividad genética entre ellas (Castillo Olguín *et al.* 2012).

Basándonos en estos resultados, lo más probable es que el flujo genético ocurra en dirección La Reforma- BLP. A pesar de no haber tenido recapturas o

detecciones de telemetría que soporten esta hipótesis, La Reforma al ser una zona sumamente productiva puede sostener a los organismos más pequeños, que posteriormente se trasladan a áreas de crianza secundarias como BLP en donde se encuentran principalmente organismos juveniles de tallas mayores (Duncan y Holand, 2006). Estos organismos en su momento, emprenden migraciones ontogénicas saliendo de su área de crianza secundaria como el organismo 0397 recapturado en este trabajo y el reportado por Hoyos Padilla *et al.* en el 2014.

CONCLUSIONES

La presencia del tiburón matillo *Sphyrna lewini* en sus primeras etapas de vida en los sitios de captura en las costas del sur del Golfo de California, es evidencia de que la especie utiliza estas como áreas de crianza.

La Reforma, Sinaloa es un área de crianza primaria para *S. lewini*, donde neonatos y juveniles permanecen en la plataforma continental durante la primera etapa de su vida, haciendo movimientos cortos sin salir de la plataforma continental. Se registró una estancia máxima con marcaje convencional de 16 meses.

La población estimada menor a los dos mil organismos en La Reforma, está expuesta a una explotación pesquera, lo que ocasiona que se desplacen a la periferia de la zona, donde la pesca y arrastres camaroneros son menos intensivos, lo que se detectó mediante el uso del marcaje convencional.

En contra de lo establecido en la hipótesis, la estimación poblacional, así como el número de capturas, indican que la población de esta especie en la zona, aunque relativamente estable, no es abundante pero si existe una preferencia y residencia en ella.

Bahía de La Paz, al ser una zona menos productiva, presenta una población menor, que no pudo ser estimada por la falta de recapturas necesarias para aplicar el modelo. Con pocos organismos capturados y solo una recaptura, la

población de esta especie en la zona es mucho más reducida que en La Reforma.

Bahía de La Paz es posiblemente un área de crianza secundaria para la especie, donde la transición de juveniles a subadultos puede llevarse a cabo. Indicativo de lo anterior, es que los individuos capturados fueron de mayor tamaño y se detectó un movimiento mucho más amplio, típico de organismos juveniles, que se salen de su área de crianza en busca de alimento.

Aunque separadas por el Golfo de California, hay una evidente conectividad genética entre ambas zonas. Los *S. lewini* de ambas zonas pertenecen a la misma población, y aunque el movimiento de individuos no pudo ser establecido, es probable que este ocurra en el sentido La Reforma-Bahía de La Paz, debido a las condiciones ambientales de cada región y a las tallas de los organismos marcados. La baja diversidad genética es evidencia de un cuello de botella, ocasionado por la disminución en el acervo genético y a la pérdida de sitios polimórficos, posiblemente ocasionado por la sobrepesca del recurso.

Referencias

- Alejo-Plata M.C, G.L.G. Cerdenares & G.M. González. 2006. La pesca de tiburón en la costa chica de Oaxaca, México, 2000-2003. En: Salas S., M.A. Cabrera, J. Ramos, D. Flores & J. Sánchez (eds). Memorias Primera Conferencia de Pesquerías Costeras en Latinoamérica y el Caribe. Evaluando, Manejando y Balanceando Acciones, pp. 22-38. EPOMEX, México.
- Alejo-Plata M.C., S.C. Ramos & J.L.R. Cruz. 2006. La pesquería artesanal del tiburón en Salina Cruz, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 30: 37-51.
- Alejo-Plata M.C, J.L. Gómez-Márquez, S.C. Ramos & E. Herrera. 2007. Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México. *Biología Marina y Oceanografía*. 42 (3): 403-413 pp

- Álvarez Borrego, S. 1983. The Gulf of California, p. 427-449 In: Estuaries and enclosed seas (B.H.Ketchum, eds.). Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam.
- Arnason, A. & K. Mills. 1981. Bias and Loss of Precision due to tag loss in Jolly-Seber Estimates for Mark-Recapture Experiments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38(9): 1077-1095.
- Amezcuca, F. & B. Bellgrah. 2014. Fisheries Management of Mexican and Central American Estuaries. *Estuaries of the World*. Editorail Springer. 213 pp
- Anislado T.V. 2000. Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral del estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 115 pp.
- Anislado V., C Robinson. 2001. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el Pacífico central de México. *Cienc. Mar*. 27 (4): 501 – 520.
- Arizpe-Covarrubias, O. 2008. Caracterización del arrecife coralino de Cabo Pulmo. 53-74 pp. *En: Gámez, A.E. (Editora), 2008. Turismo y Sustentabilidad en Cabo Pulmo, B.C.S. SDSU, UABCS, CONACYT. México. 310p.*
- Arizpe-Covarrubias, O. 2005. El turismo como alternativa a la pesca en el manejo de un arrecife coralino, caso Cabo Pulmo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. 576 pp.
- Bass, A.J .1978. Problems in studies of sharks in the southwestern Indian Ocean, p.545-594. In: *Sensorybiology of sharks, skates and rays*. (E.S. Hodgson & R.F. Mathewson eds.). U .S. Department of theNavy, Office of Naval Research, Arlington, Virginia.
- Baum, J.K. & Myers, R.A. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf ofMexico. *Ecology Letters* 7:135–45.
- Baum, J., Clarke, S., Domingo, A., Ducrocq, M., Lamónaca, A.F., Gaibor, N., Graham, R., Jorgensen, S.,Kotas, J.E., Medina, E., Martinez-Ortiz, J., Monzini Taccone di Sitizano, J., Morales, M.R., Navarro,S.S., Pérez-Jiménez, J.C., Ruiz, C., Smith, W., Valenti, S.V. & Vooren, C.M. 2007. *Sphyrna lewini*.The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Consultado 16 Febrero 2015.
- Bonfil, R. 1997. Status of shark resources in the Southern Gulf of México and Caribbean: Implications for management. *Fisheries Research (Amsterdam)* 29, 101-117 pp.

- Bonfil R. 1999. Marine protected areas as a shark fisheries management tool. In: Seret B., Sire J.-Y. (eds.), Proc. 5th Indo-Pacific Fish Conference, Noumea, 1997. Paris: Soc. Fr. Ichtyol. 217–230 pp.
- 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(3), 161-173.
- Branstetter, S. 1991. Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic, p. 17-28. In: Elasmobranchs as living resources: advanced in biology, Ecology, systematics, and the status of the fisheries (H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber, and Taniuchi, eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS 90.
- Brattstrom, B.H. 1992 Biogeography of the Islas Revillagigedo, Mexico. *Journal of Biogeography* 17, 177-183.
- Bush, A. & K, Holland. 2002. Food limitation in a nursery area: estimates of daily ration in juvenile scalloped hammerheads, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834) in Kane'ohe Bay, O'ahu, Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 278:157-178.
- Castillo-Olguín, E., Uribe-Alcocer, M., & Díaz-Jaimes, P. 2012. Assessment of the population genetic structure of *Sphyrna lewini* to identify conservation units in the Mexican Pacific. *Ciencias Marinas*, 38(4).
- Castro, J.I. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the Southeastern coast of the United States. *Env. Biol. Fishes* 38: 37-48 pp.
- Chen, C. T., Leu, T. C., Joung, S. J., & Lo, N. C. H. 1990. Age and growth of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in northeastern Taiwan waters.
- Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, 783-791.
- Compagno L.J.V, F Krupp & W. Schneider. 2005. Tiburones. En: Fisher W., F. Krupp, W. Schneider, C. Somer, K.E. Carpenter & V.H. Niem (eds). Guía FAO para la
- CONABIO. 2007. Guía de identificación de invertebrados de Bahía de La Paz, Baja California Sur. México. IV Congreso Mexicano de Arrecifes Coralinos. La Paz, BCS. México identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental, 2: 648-743. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

- CONAPESCA-INP. 2004. Plan de acción nacional para el manejo y conservación de tiburones, rayas y especies afines en México, 80 pp. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán.
- DOF. 2007. NORMA Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. SEGOB.
- DOF. 2014. NORMA Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014, Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. SEGOB.
- Duncan, K. M., Martin, A. P., Bowen, B. W., & De Couet, H. G. 2006. Global phylogeography of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *Molecular ecology*, 15(8), 2239-2251.
- Duncan, K. M., & Holland, K. N. 2006. Habitat use, growth rates and dispersal patterns of juvenile scalloped hammerhead sharks *Sphyrna lewini* in a nursery habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 312, 211-221.
- Espinosa-Carreón, T. Leticia, & Valdez-Holguín, Eduardo. 2007. Gulf of California interannual chlorophyll variability. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 83-92.
- Freeland, J. 2005. Molecular markers in ecology. *Molecular Ecology*. (Ed. H. Kirk.) pp, 31-62.
- Flores-Cárdenas, F. 2011. *Vulnerabilidad del Sistema Lagunar Santa María-La Reforma (Sinaloa) asociada a las dimensiones humanas y variabilidad climática: 1-66* (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Mexico).
- Fondon, John W., III & Garner, Harold R. 2004. Molecular origins of rapid and continuous morphological evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **101** (52): 18058
- Freeland, J. 2005. Molecular markers in ecology. *Molecular Ecology*. (Ed. H. Kirk.) pp, 31-62.
- Galván-Villa, C.M., Arreola-Robles, J. L., Ríos-Jara, E., & Rodríguez-Zaragoza F. A. 2010. Ensamblajes de peces arrecifales y su relación con el hábitat bentónico de la Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista de biología marina y oceanografía* 45(2), 311-324.
- Hancock, J. 1999. Microsatellites and other simple sequence: genomic context and mutational mechanisms. En: Goldstein D., Schlotterer C. (eds.). *Microsatellites evolution and applications*, Oxford University Press, New York, pp. 1-10.

- Holsinger, Kent E & Bruce S. Weir .2009. Genetics in geographically structured populations: defining, estimating and interpreting FST. *Nat Rev Genet.* **10** (9): 639–650.
- Hoyos-Padilla E.M., Ketchum J.T., Klimley A.P., & Galvan-Magana, F. 2014. Ontogenetic migration of a female scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Gulf of California. *Animal Biotelemetry* **2** (1): 17.
- Hueter, R.E. 1994. Bycatch and catch-release mortality of small sharks in the gulf coast nursery grounds of Tampa Bay and Charlotte Harbor. Final report. NOAA/NMFS/MARFIN Project NA17FF0378-01. 183 pp.
- Jolly, G. M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika*, *52*(1/2), 225-247.
- Jorgensen, S.J., P. Klimley & A.F. Muhlia-Melo. 2009. Scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*, utilizes deep-water, hypoxic zone in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology*. **74**, 1682-1687.
- Keeney, D. B., Heupel, M., Hueter, R. E., & Heist, E. J. 2003. Genetic heterogeneity among blacktip shark, *Carcharhinus limbatus*, continental nurseries along the US Atlantic and Gulf of Mexico. *Marine Biology*, *143*(6), 1039-1046.
- Ketchum, J. T., Hearn, A., Klimley, A. P., Peñaherrera, C., Espinoza, E., Bessudo, S., ... & Arauz, R. 2014. Inter-island movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) and seasonal connectivity in a marine protected area of the eastern tropical Pacific. *Marine Biology*, *161*(4), 939-951.
- Klimley, A. P. 1983. Social organization of schools of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith), in the Gulf of California.
- Klimley, A. P. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes*, *18*(1), 27-40.
- Klimley, A. P. 1993. Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance, temperature, bathymetry, and geomagnetic field. *Marine Biology*, *117*(1), 1-22.
- Krebs, C.J. 1985. *Ecología: Estudio de la distribución y abundancia*. 2ª ed. Harla. México. 753 pp. En: Pacific Coast, México to Ecuador. Sea Challengers, Monterey. US. 115 pp.
- Lankford R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification. *Estuarine processes* **2**:182-215.

- LLuch Cota, S., Pa'res-Sierra, A. Magaña Rueda, V y F. Arreguín-Sanchez. 2010. Changing climate in the Gulf of California. *Progress in Oceanography* 87, 114-126, Editorial ELSEVIER.
- Lopez J., Hernandez, N. & E. Herrera. 2012. Efectos de la pesca de arrastre del camarón en el Golfo de California. CIBNOR Unidad Sonora, 15-25.
- Maguire, J. J. 2006. *The state of world highly migratory, straddling and other high seas fishery resources and associated species* (No. 495). Food & Agriculture Org..
- Maluf, W. R., & Ferreira, P. E. 1983. Diversa multivariada da divergencia genetica em feijao-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). *Horticultura Brasileira.*, 2, 31-34.
- Martínez-López, Aída, Cervantes-Duarte, Rafael, Reyes-Salinas, Amada, & Valdez-Holguín, José Eduardo. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. *Hidrobiológica*, 11(1), 45-52
- Myers, R. A., Baum, J. K., Shepherd, T. D., Powers, S. P., & Peterson, C. H. 2007. Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science*, 315(5820), 1846-1850.
- Nance, H. A., Klimley, P., Galván-Magaña, F., Martínez-Ortíz, J., & Marko, P. B. 2011. Demographic processes underlying subtle patterns of population structure in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Plos One*, 6(7), e21459.
- NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas, especificaciones para su aprovechamiento. Diario Oficial de la Federación, Primera Sección, 14
- Oppen, M. J. V., Rico, C., Turner, G. F., & Hewitt, G. M. 2000. Extensive homoplasy, nonstepwise mutations, and shared ancestral polymorphism at a complex microsatellite locus in Lake Malawi cichlids. *Molecular Biology and Evolution*, 17(4), 489-498.
- Pauly, D., Alder, J., Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers, P., & Watson, R. 2003. The future for fisheries. *Science*, 302(5649), 1359-1361.
- Pérez-Jimenez J.C. 2014. Historical records reveal potential extirpation of four hammerhead sharks (*Sphyrna* spp.) in Mexican Pacific waters. *Fish Biol Fisheries*. DOI 10.1007/s11160-014-9353.
- Pradel, R. 1996. Utilization of Capture-Mark-Recapture for the study of recruitment and population growth rate. *Biometrics* 52, 703-709.
- Ramírez Macías, D. 2005. Caracterización de marcadores moleculares del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) del Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN

- Ramírez-Macías, D., Vázquez-Juárez, R., Galván-Magaña, F., & Munguía-Vega, A. 2007. Variations of the mitochondrial control region sequence in whale sharks (*Rhincodon typus*) from the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 84(1), 87-95.
- Reyes-Bonilla, H., Ayala-Bocos, A., Melo, F. J. F. R., Zepeta-Vilchis, R., Asúnsolo-Rivera, A., & Ketchum, J. T. 2016. A bibliographic and field record chronology of sharks at Cabo Pulmo National Park, Gulf of California. *CICIMAR Océánides*, 31(1), 55-57.
- Rowe, G., Sweet, M., & Beebee, T. 2017. *An introduction to molecular ecology*. Oxford University Press.
- Sala, E., Aburto-Oropeza, O., Reza, M., Paredes, G., & López-Lemus, L. G. 2004. Fishing down coastal food webs in the Gulf of California. *Fisheries*, 29(3), 19-25.
- Salomón-Aguilar, C. A., Villavicencio-Garayzar, C. J., & Reyes-Bonilla, H. 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas*, 35(4).
- Sandoval-Castillo, J., & Beheregaray, L. B. 2015. Metapopulation structure informs conservation management in a heavily exploited coastal shark (*Mustelus henlei*). *Marine Ecology Progress Series*, 533, 191-203.
- Smith, W. D., Bizarro, J. J., & Cailliet, G. M. 2009. La pesca artesanal de elasmobranquios en la costa oriental de Baja California, México: Características y consideraciones de manejo. *Ciencias Marinas*, 35(2), 209-236.
- Speed C.W., I.C. Field, Meekan, M.J. & Bradshaw, C.J.A. 2010. Complexities of coastal shark movements and their implications for management. *Marine Ecology Progress Series* 408: 275–293.
- Stevens, J. D., & Lyle, J. M. 1989. Biology of three hammerhead sharks (*Eusphyra blochii*, *Sphyrna mokarran* and *S. lewini*) from northern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 40(2), 129-146.
- Thomson D.A., Findley, L. T. and Kerstitch, A.N. 2000. Reef Fishes of the Sea of Cortez. The rockyshore Fishes of the Gulf of California. The Univ. of Texas. 353 p.
- Torres-Huerta A.M., Villavicencio-Garayzar C., and Corro-Espinoza, D. 2008. Reproductive biology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* Griffith & Smith (Sphyrnidae) in the Gulf of California. *Hidrobiologica* 18:227–238.

Trejo Ramírez, A. 2017. Caracterización de la bahía de la paz, baja california sur, México, como una posible área de crianza del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882). Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN.