

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Movimientos de sub-adultos de Tiburón Martillo, *Sphyrna lewini*, en las  
Islas Galápagos**

**Proyecto de investigación**

**Miguel Andrés Hernández Rodríguez**

**Biología**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Licenciado  
Biólogo con especialización en Ecología Marina

Quito, 18 de diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AMBIENTALES

HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Movimientos de sub-adultos de Tiburón Martillo, *Sphyrna lewini*,  
en las Islas Galápagos**

**Miguel Andrés Hernández Rodríguez**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

\_\_\_\_\_

Alex Hearn, Ph.D.

Firma del profesor

\_\_\_\_\_

Quito, 18 de diciembre de 2017

## **Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

Miguel Andrés Hernández Rodríguez

Código:

00118371

Cédula de Identidad:

1715921688

Lugar y fecha:

Quito, 18 de diciembre de 2017

## RESUMEN

Las áreas marinas protegidas (AMPs) son mecanismos de conservación para especies con movimientos de pequeña escala, sin embargo no se ha comprobado su eficacia con especies altamente móviles. El objetivo de la Reserva Marina de Galápagos es proteger y conservar ecosistemas marinos y su biodiversidad, por lo que está prohibida la pesca de tiburones dentro de sus límites. El tiburón martillo, *Sphyrna lewini*, es una especie pelágica semi-oceánica con expansiones laterales en su cabeza, tiene una longitud media de 3.6m en su adultez y las hembras llegan a la madurez sexual a los 212cm de longitud total. Es un depredador tope que elimina individuos enfermos débiles o muertos y regula poblaciones de peces. Los juveniles de tiburón martillo están en los mares tropicales de todo el mundo y habitan en zonas de crianza, definidas como zonas costeras poco profundas con más disponibilidad de presas y menos riesgo de depredación. Esta especie es vulnerable por tener una madurez tardía y una baja tasa de fecundidad, además de que su comportamiento puede ser afectado por el fenómeno del Niño. La pesca incidental y dirigida es una amenaza importante, ya que se han extraído 100 000 toneladas de tiburones en 60 años por la flota ecuatoriana, y aún más por flotas asiáticas y americanas. Hoy en día existe muy poca información sobre juveniles y neonatos de tiburón martillo en Galápagos, por lo tanto es importante entender sus movimientos para tomar medidas de conservación efectivas. En este estudio se capturaron 7 hembras juveniles, con una edad estimada entre 5 y 7 años (129.5cm - 157.5cm de longitud total) cerca de la isla Mosquera, y se colocó una marca satelital SPOT y una marca acústica V16 en cada individuo. Solamente 3 individuos fueron registrados en 3 receptores acústicos del archipiélago cerca de la zona de marcaje. Demostraron tener direccionalidad en el número de entradas por hora a los receptores, patrones diales, y patrones cada 12 horas que podrían deberse a mareas o crepúsculo. En el marcaje satelital se registraron 3 individuos, dos de los cuales tuvieron movimientos direccionados a alta velocidad hacía el oeste del Pacífico, posiblemente para mejorar su éxito alimenticio o por cambios ontogenéticos; el tercero tuvo movimientos itinerantes, a baja velocidad cerca del lugar de marcaje. No se registraron movimientos hacia zonas de adultos y la agregación de juveniles no persistió a lo largo del tiempo. Por otro lado, se realizaron salidas exploratorias para la captura de neonatos, en la isla San Cristóbal, utilizando una nueva metodología llamada seine fishing. Se capturaron 5 individuos en dos días, comprobando la eficacia de esta técnica.

**Palabras clave:** *Sphyrna lewini*, marcaje satelital, marcaje acústico, juveniles, neonatos, movimientos.

## ABSTRACT

Marine protected areas (MPAs) are conservation mechanisms for species with small-scale movements, however their effectiveness with highly mobile species has not been proven. The objective of the Galapagos Marine Reserve is to protect and conserve marine ecosystems and their biodiversity, which is why shark fishing is prohibited within its limits. The hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, is a semi-oceanic pelagic species with lateral expansions in its head, has an average length of 3.6m in its adulthood and females reach sexual maturity at 212cm of total length. It is a top predator that eliminates weak, dead or sick individuals and regulates fish populations. Juvenile hammerhead sharks are in tropical seas around the world and live in breeding areas, defined as shallow coastal areas with more prey availability and less predation risk. This species is vulnerable because it has a late maturity and a low fertility rate, and its behavior can be affected by the El Niño phenomenon. Incidental and directed fishing is a major threat since 100 000 tonnes of sharks have been extracted in 60 years by the Ecuadorian fleet, and even more by Asian and American fleets. Today there is very little information on juveniles and hammerhead pups in Galapagos, so it is important to understand their movements to take effective conservation measures. In this study 7 juvenile females were captured, with an estimated age between 5 and 7 years (129.5cm - 157.5cm of total length) near Mosquera Island, and a SPOT satellite mark and an acoustic mark V16 were placed on each individual. Only 3 individuals were registered in 3 acoustic receivers of the archipelago near the marking area. They demonstrated having directionality in the number of entries per hour to receivers, diel patterns, and patterns every 12 hours that could be due to tides or twilight. In the satellite tagging, 3 individuals were registered, two of whom had directed movements at high speed towards the western Pacific, possibly to improve their feeding success or because of ontogenetic changes; the third had itinerant movements at low speed near the place of marking. There were no movements towards adult areas and the aggregation of juveniles did not persist over time. On the other hand, exploratory trips were made to capture pups on San Cristobal Island, using a new methodology called seine fishing. Five individuals were captured in two days, verifying the effectiveness of this technique.

**Key words:** *Sphyrna lewini*, satellite tagging, acoustic tagging, juveniles, pups, movements.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
Objetivos .....	13
<b>MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
Área de Estudio .....	14
Biotelemetría .....	15
Captura de Tiburones Juveniles .....	16
Captura de Tiburones Neonatos .....	16
Análisis de Datos.....	17
Datos Acústicos .....	17
Datos Satelitales .....	18
Conteo.....	18
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
Marcaje Acústico.....	19
Marcaje Satelital.....	20
Tiburones Neonatos.....	21
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
Marcaje acústico.....	22
Marcaje Satelital.....	23
Tiburones Neonatos.....	25
Evento de Avistamiento de Juveniles .....	25
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO A: TABLAS.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO B: FIGURAS .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos de marcaje de tiburones martillo juveniles en la RMG. ....	38
<b>Tabla 2.</b> Duración y número de entradas por sitio de tiburones juveniles con marcas acústicas. ....	38
<b>Tabla 3.</b> Detalles de prueba estadística Rao's Spacing Test.....	39
<b>Tabla 4.</b> Datos de los trayectos de tiburones con marcas satelitales.....	39
<b>Tabla 5.</b> Captura de tiburones juveniles en Puerto Grande, extraído de Llerena, entregado.	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Reserva Marina de Galápagos, corrientes principales y biorregiones del Archipiélago de Galápagos. Modificado a partir de Hearn et al. 2010.....	40
<b>Figura 2.</b> Receptores acústicos (rojo) en el Archipiélago de Galápagos .....	41
<b>Figura 3.</b> Zona de captura (bordes negros), avistamiento de tiburones (rayado) entre Baltra y Seymour Norte, con sitios de captura (cruces) y receptores acústicos (puntos rojos).....	42
<b>Figura 4.</b> Número de entradas por hora (azul) y media con 95% de confianza (línea negra) de tiburones juveniles en receptores acústicos en Baltra, Gordon Sur y Seymour Norte. ....	43
<b>Figura 5.</b> Transformación rápida de Fourier de la hora de entrada de tiburones con marcas acústicas a receptores .....	44
<b>Figura 6.</b> Trayectoria de un tiburón itinerante entre Baltra y Seymour Norte, con un ID de 48890, marcado en Mosquera. ....	45
<b>Figura 7.</b> Trayectoria de 2 tiburones martillo, 48889 (verde) y 26296 (azul) con movimiento direccionado hacia el oeste en el pacífico, marcados en Mosquera.....	46

## INTRODUCCIÓN

Las áreas marinas protegidas (AMPs) son un mecanismo de conservación de especies y hábitats marinos desde su creación en el siglo XX. Estas protegen organismos con movimientos de pequeña escala a un punto en el que pueden ayudar a regenerar poblaciones. En el caso de animales con movimientos de gran escala, como entre islas, islotes o montes submarinos es más difícil y una AMP aislada no es suficientemente efectiva ya que no se incluyen sus diferentes hábitats clave que pueden estar esparcidos en un océano entero (Filous et al., 2017). Hoy en día, las AMPs están siendo usadas para la protección de tiburones al controlar la presión pesquera (Knip et al., 2012), pero se han realizado muy pocas evaluaciones para determinar su eficacia al proteger especies altamente móviles (White et al., 2015).

La Reserva Marina de Galápagos (RMG) fue creada en 1998, siendo en aquel momento una de las AMPs más grandes del mundo (Heylings & Bensted-Smith, 2002; Castrejón & Charles, 2013). El objetivo de esta Reserva, desde su inicio, es proteger y conservar ecosistemas marinos y su biodiversidad por el valor que tienen (SPNG, 1998). Hoy en día está prohibida la pesca de tiburón dentro de los límites de la reserva, y esto fue enfatizado en el año 2016 con la creación del santuario marino Darwin & Wolf, ya que según el Ministerio del Ambiente del Ecuador esta zona tiene la mayor biomasa de tiburones y se la debe proteger de la pesca artesanal interna de Galápagos (MAE, 2016).

El tiburón martillo *Sphyrna lewini* fue descrito por Griffith y Smith en 1834. Es una especie pelágica costera semi-oceánica y pertenece a la familia Sphyrnidae. Su nombre común se debe a las expansiones laterales de su cabeza y es posible diferenciarlo del resto de especies de su género ya que se caracteriza por poseer 4 lóbulos en la parte anterior de la

cabeza. Es de color gris-marrón casi en su totalidad, exceptuando las puntas de las aletas pectorales que tienden a ser más oscuras o negras (Baum et al., 2007). Alcanza una longitud máxima de 420 cm, aunque usualmente llega a medir alrededor de 360 cm; las hembras llegan a la madurez sexual en los 212 cm y los machos entre 140 y 165 cm (Baum et al., 2007), y la talla de nacimiento varía entre 31 y 57 cm (Compagno 1984; Branstetter 1987; Stevens and Lyle 1989; Chen et al. 1990).

Estudios realizados en el Golfo de California indican que la dieta de los juveniles se basa en peces bentónicos y neríticos, mientras que los tiburones en estado adulto se alimentan de peces neríticos y epipelágicos, en los que se incluyen cefalópodos, rayas, langostas, camarones y cangrejos (Klimley 1982, Galván et al. 1989, Aguilar-Castro 2003, Torres-Rojas et al. 2006). En un estudio realizado por Castañeda & Sandoval (2007) en Ecuador, se reportó que la dieta se compone en un 90% de calamar, en su mayoría de la especie *Dosidicus gigas*.

Se encuentra distribuido en todo el mundo en mares cálidos templados y tropicales. Entre ellos incluido el Pacífico Tropical del Este (ETP), en donde se han registrado poblaciones desde Baja California Sur hasta el norte de Perú (Compagno, 1984; Robsertson & Allen, 2002). Los adultos forman grupos que pueden ser de gran tamaño, pequeños o vivir en solitario, y habitan sobre plataformas continentales e insulares, alrededor de montes submarinos o islotes, en donde frecuentan profundidades relativamente someras (60m), pero pueden descender hasta 1000m para alimentarse (Bessudo et al., 2011). Los juveniles forman agrupaciones con predominancia de hembras y, acompañados por neonatos, frecuentan alrededor del mundo zonas de crianza, llamadas nurseries en inglés, que consisten en áreas usualmente poco profundas y costaneras (Springer, 1967), en donde existe mayor acceso al alimento, mayor abundancia de presas y menor riesgo de depredación (Simpfendorfer & Milward, 1993; Duncan & Holland, 2006). Estas zonas se definen, según Heupel (2007), como lugares en donde los tiburones tienen una densidad promedio mayor que en otras zonas,

y tienden a permanecer por largos periodos de tiempo, o a regresar (fidelidad de sitio). Esta definición sirve para no confundir zonas de crianza con zonas de gran abundancia como corredores o áreas de cópula y alimentación, en donde no existe una alta fidelidad en todas las épocas.

*Sphyrna lewini* cumple con dos razones fundamentales para tomar medidas efectivas para la conservación sistemática planeada según Margules y Pressey (2000) que son la vulnerabilidad y la incapacidad de ser reemplazados (irreplaceability). La vulnerabilidad se da por estar en un estado de peligro según la IUCN (Baum et al., 2007) y la incapacidad de ser reemplazados, porque son depredadores tope que cumplen un papel crucial en la cadena alimenticia, como regular poblaciones y evitar la propagación de enfermedades en peces y herbívoros (Stevens et al., 2000; Sala, 2010) al eliminar individuos enfermos, débiles o muertos (Galván-Magaña et al., 1989).

La especie en cuestión está altamente amenazada por características propias además de las condiciones de su entorno. En primer lugar, maduran tardíamente y tienen una baja tasa de fecundidad, lo que resulta en un crecimiento poblacional lento (Ferrari & Ferrari, 2001; Hutchings et al., 2012). En segundo lugar, al tener un comportamiento estacional según la temperatura superficial oceánica (Ketchum et al., 2014), en la zona del ETP se ven afectados por el fenómeno del Niño que se piensa que altera su distribución y abundancia relativa (Bessudo et al., 2011), mientras se mueven en dirección contraria a la línea ecuatorial (Lea & Rosenblatt, 2000).

La amenaza más grande hacia los tiburones martillo en el ETP es la pesca incidental o dirigida, que sucede en flotas provenientes de México, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Japón, Taiwan y Corea (Camhi, 1995; Merlen, 1995; Zarate, 2002; Baum et al. 2007; Reyes & Murillo, 2007; Kyne et al. 2012). Se conoce que tienen una alta movilidad entre islas, por

ejemplo entre Galápagos, Malpelo y Cocos (Bessudo et al., 2011; Ketchum, 2014), que aunque son AMPs, existe pesca ilegal dentro de sus límites. La pesca legal ocurre en aguas internacionales donde estos animales no son protegidos, y son capturados por barcos industriales (Kyne et al. 2012). La razón de esto es la alta demanda en el mercado asiático, principalmente en Hong Kong, para la preparación de la sopa de aleta (Cahmi, 1995; Clarke et al., 2007).

Dentro de la zona económica exclusiva de Galápagos, es decir dentro de 200 millas náuticas alrededor de las islas, se ha registrado una extracción de más de 100 000 toneladas de tiburones desde 1950 hasta el 2010 por la flota ecuatoriana (Carr et al., 2013; Schiller et al., 2014). Al no tener ningún reporte de la pesca de los países antes mencionados, se puede asumir que dicho número es una fracción mínima de la extracción real que ha ocurrido y sigue sucediendo a presente (Schiller et al., 2014).

En el Ecuador, en el puerto de Manta que recibe el 80% de la pesca de tiburones, se registraron 160 t en 2004, 96 t en 2005 y 82 t en 2006 de la especie *Sphyrna lewini* (Martínez-Ortíz et al., 2007). Durante esos 3 años el porcentaje de juveniles dentro de los capturados es 83% para hembras y 71% para machos, capturados en su mayoría (74%) en la época cálida, entre enero y junio (Martínez-Ortíz et al., 2007).

A pesar del gran esfuerzo que se ha realizado en Galápagos, la información existente de neonatos es principalmente sobre tiburones punta negra (*Carcharinus limbatus*) y tiburones punta blanca (*Triaenodon obesus*). En un estudio publicado por Llerena en el 2009, se realizaron 19 salidas de campo entre los años 2008 y 2009 y solamente se capturó un tiburón martillo y no se avistó ninguno al hacer snorkel, mientras que las cifras entre puntas negras y puntas blancas alcanzaron los 42 individuos avistados y 52 capturados en 5 zonas de manglar alrededor de San Cristóbal. Por ende, la información que existe sobre esta especie en su estado de neonato es casi nula.

La importancia de este estudio recae en entender los movimientos de pequeña y gran escala de los tiburones martillo juveniles para poder tomar medidas de manejo y de conservación efectivas dentro de la RMG y en el ETP.

## **Objetivos**

Este estudio pretende investigar sobre un evento ocurrido en enero de 2014, cuando fueron avistados más de 100 tiburones martillos de tamaño juvenil (aproximadamente 1.2 m de longitud) nadando en la superficie entre el norte de Baltra, el islote Mosquera, y la costa de Seymour Norte.

Los objetivos del estudio son:

1. Determinar si es que las agregaciones de tiburones martillos juveniles se comportan de la misma manera que las agregaciones de adultos:
  - a. La agregación persiste a lo largo del tiempo?
  - b. Tiene una señal dial? Es decir, se dispersan de noche y se agregan de día?
2. Existen movimientos desde la agregación juvenil del centro del archipiélago hasta las zonas de adultos?
3. Hay evidencia de que estos juveniles fueron paridos dentro de la RMG?
4. Proponer un modelo de ciclo de vida para el tiburón martillo que pueda ser comprobado o modificado en futuros estudios.

# MÉTODOS

## Área de Estudio

Las islas Galápagos están ubicadas a 972 km del Ecuador continental, en el ETP. El archipiélago está constituido de 13 islas principales y más de 100 islotes y rocas, todos de origen volcánico (Snell et al., 1996). La GMR mide 138 000 km<sup>2</sup> al cubrir un área desde los puntos más lejanos de las islas por una distancia de 40 millas náuticas o 74 km. Las condiciones climáticas y oceanográficas son únicas ya que existe una convergencia de varias corrientes marinas. En primer lugar está la corriente cálida de Panamá que es responsable de gran parte de los animales que han migrado a estas islas, y en segundo lugar está la corriente fría de Humboldt que aporta con una alta cantidad de nutrientes (Houvenaghel, 1984). Estas corrientes en conjunto son responsables de que existan dos temporadas en el archipiélago. La temporada cálida y lluviosa es de diciembre a mayo y la temporada fría con garúa constante es de junio a noviembre. Desde Oceanía llega la corriente fría de Cromwell, que cruza el Pacífico en profundidad y aflora al chocar con la plataforma de Galápagos. Esto genera una alta productividad al disminuir la temperatura superficial oceánica y alimentándola de nutrientes, promoviendo el crecimiento de plancton. La interacción de estas corrientes genera en la RMG diferentes biorregiones como la zona fría del oeste, la zona cálida del norte, y la zona central mixta, cada una con comunidades marinas características (Edgar et al., 2004). La temperatura superficial oceánica también es causada por el choque de corrientes y es de 26°C en la temporada cálida y de 22°C en la temporada fría (Banks, 2002).

El estudio se realizó en la biorregión sudeste central del archipiélago, sobre todo en los alrededores del islote Mosquera (0° 24' 16" S, 90° 16' 41" W), que se encuentra al norte

de la isla Santa Cruz. En los alrededores del islote las profundidades no superan los 500m de profundidad y el fondo marino es arenoso y rocoso (DPNG, 2014).

## **Biotelemetría**

La biotelemetría se define como el monitoreo remoto de información comportamental. Esto ocurre a través de una señal que emana de un dispositivo o transmisor, portado por un animal, que envía información a un receptor (Cooke, 2008). En el caso de marcas satelitales, el transmisor emite señales de radio que son captadas por satélites y así se puede estimar su posición geográfica con ecuaciones matemáticas (Harris et al., 1990). El ambiente juega un rol importante, ya que las ondas de radio no se pueden transmitir debajo del agua, por lo tanto en un estudio de este tipo es importante evaluar cada cuanto el animal sale a la superficie para que los datos que se han guardado se puedan enviar, o que se pueda calcular la posición en ese momento. En el caso de marcas acústicas, el transmisor está enviando señales continuamente y estas solamente son captadas si el animal entra dentro del rango de un receptor previamente colocado en un sitio clave. El receptor tiene un radio de 200 metros pero no registra posiciones dentro de su rango, sino solo presencia. Actualmente en la RMG existen 37 receptores acústicos distribuidos en las zonas de más tránsito de elasmobranquios (Fig. 2), cuyos datos son descargados cada año aproximadamente. La importancia de usar ambos tipos de telemetría se basa en cubrir la mayor cantidad de datos. Las marcas satelitales son muy útiles para cubrir movimientos a gran escala, como migraciones entre islas, archipiélagos e incluso a través de un océano. Las marcas acústicas al contrario otorgan datos más específicos ya que se ven movimientos a pequeña escala, entre zonas transitadas en una misma isla o movimientos a islas cercanas. La cantidad de emisiones de una marca y el tiempo entre cada emisión dependen totalmente del animal, pero por lo general en el tipo

satelital las emisiones son más separadas entre sí porque el tiburón tiene que transmitir, es decir estar en superficie, al mismo tiempo que pasa un satélite por ese lugar, lo que genera pocas detecciones con separaciones entre sí desde varias horas hasta varios días, mientras que en el tipo acústico van desde varias detecciones por hora hasta pocas detecciones al día.

## **Captura de Tiburones Juveniles**

La captura de tiburones martillo juveniles fue realizada del el 25 al 29 de enero de 2014, desde las 9:00 hasta las 17:00. Los lugares de avistamiento y captura fueron en Mosquera y sus alrededores, incluyendo Baltra y Seymour Norte (Fig.3). La técnica de captura utilizada fue la caña de pescar y carrete. Para que la pesca sea efectiva fue necesario lanzar la carnada al frente del tiburón (angling), y la carnada usada fue pez mariposa, pez bójala o Selar. Al capturar un individuo juvenil, se lo subía al barco y se colocaban dos marcas. La primera era una marca satelital de tipo SPOT, colocada en la aleta dorsal con 4 tornillos de plástico, y la segunda era una marca acústica de tipo V16, colocada en la aleta dorsal con 2 tornillos de plástico. Previo a este estudio se habían colocado varios receptores dentro de la RMG en sitios estratégicos, tales como Mosquera, Seymour Norte, Gordon Rocks, y más (Fig. 2).

## **Captura de Tiburones Neonatos**

Durante los días 24 y 26 de mayo 2017, se realizaron salidas exploratorias para la búsqueda de tiburones martillo neonatos, basado en el tipo de hábitat – lagunas y manglares. Las salidas se realizaron en Puerto Grande, isla San Cristóbal. Se colocaron dos personas en

el borde del mar con un extremo de la red de trasmallo, y el barco que contaba con el resto de la red navegó hacia el mar. Después el barco regresó al otro lado de la bahía encerrando así a todos los animales dentro de la malla y la orilla. Para que este método permita capturar tiburones es indispensable que la red toque el piso a todo momento con la ayuda de pesos. La captura fue realizada durante 2 horas en cada salida, y empezó el primer día a las 17:00 y el segundo día a las 05:00.

## **Análisis de Datos**

### **Datos acústicos.**

Para cada individuo se determinó el número total de detecciones, el número de días detectado y la duración total del track, entre la fecha de marcaje y la última detección en la zona, al igual que el índice de residencia, definido como el número de días detectado dividido para el número de días entre la primera y la última detección.

Una visita a un receptor acústico se define como una serie de detecciones consecutivas. Se da por terminada una visita si entre dos detecciones pasan más de 15 minutos, basado en Ketchum et al., 2014, para mantener comparabilidad de datos. Se calcularon el número y duración de cada visita en todas las estaciones de receptores VR2, y se compararon entre individuos y sitios.

Se analizaron las horas de entrada a los receptores para determinar si existía una preferencia según los individuos, con el uso del Rao's Spacing Test, que calcula direccionalidad en estadística circular.

Para determinar periodicidad se realizó una transformación rápida de Fourier (FFT), que demuestra, según las frecuencias de entrada en los receptores, si el comportamiento de los tiburones es regido por mareas, días, ciclos lunares y más.

### **Datos Satelitales.**

Se hizo una limpieza de datos antes de plotear mapas y calcular distancias ya que las estimaciones de posición pueden tener errores muy altos, dependiendo de las condiciones en las que se envían las señales de radio al satélite, es decir que si se envían más de cuatro señales, la posición tendrá un número, del 0 al 3, y si se envían menos, tendrá una letra que puede ser A, al enviarse 3 señales, B con 2 señales o Z con una señal. En el caso de los números, el error de posicionamiento es de 300, 500, 1000 y 3000 metros para los números 3, 2, 1 y 0 respectivamente (Vincent et al., 2002). El error de posicionamiento con letras es de aproximadamente 1200 y 7200 para A y B respectivamente. La letra Z es muy rara vez utilizada ya que el error es demasiado grande. El error encontrado es mayor en longitud que en latitud para todas las etiquetas de posición excepto la letra A (Vincent et al., 2002). Para reducir el error se filtraron los datos, según el número o la letra que correspondía a cada posición, además de calcular si la distancia entre dos posiciones podía ser real de acuerdo al tiempo entre estas, teniendo en cuenta la velocidad promedio de un tiburón. En el caso de animales marinos la mayoría de datos de posición tienen una precisión 0, A o B ya que el tiempo que están en superficie, con la marca satelital fuera del agua, es bajo.

Se mapearon los trayectos de tres tiburones para analizar sus movimientos a gran escala, que podían ser de itinerancia cerca de una isla, o ser movimientos direccionados hacia otra isla o hacia el exterior de la RMG.

### **Conteo.**

Para los tiburones neonatos capturados en Puerto Grande se hizo solamente un conteo de individuos capturados ya que el fin de estas salidas de campo fue puramente exploratorio.

## RESULTADOS

### Marcaje Acústico

Se capturaron 7 tiburones, todas hembras, con longitudes totales entre 129.5 y 157.5 centímetros. De estos individuos solamente 3 emitieron señales en los receptores, que variaron desde 9 señales a 308, con un número de visitas entre 5 y 86 (Tabla 1). Las duraciones de los tracks acústicos fueron 2, 6 y 23 días, registradas solamente en los sitios Baltra, Seymour Norte y Gordon Sur.

El primer individuo, con un ID 26294, emitió ocho señales el 31 de enero de 2014 en el receptor de Baltra y una señal el 5 de febrero del mismo año en el receptor de Gordon Sur. El segundo individuo con un ID 26296 emitió un total de 42 señales los días 29 y 30 de enero del 2014 en los receptores de Baltra y Seymour Norte. El tercer individuo juvenil tuvo un total de 308 entradas a los receptores de Baltra y Seymour Norte desde el 29 de enero hasta el 20 de febrero (Tabla 2).

El número de entradas según la hora nos muestra que el tiburón 26294 ingresa al receptor de 07:00 a 19:00, con una media a las 13:04, el tiburón 26296 desde las 10:00 hasta las 02:00 con una media a las 0:12 y el tiburón 48890 entra desde las 16:00 hasta las 19:00 con una media a las 14:59 (Fig. 4). Se calculó el Rao's Spacing Test (Prueba de Espaciado de Rao) para determinar si el número de entradas por hora de cada individuo es uniforme o direccionado. En los 3 tiburones el valor p de esta prueba estadística fue menor a 0.01, lo que nos muestra que si existe una direccionalidad o una preferencia en las horas de entrada, y al ser diferentes horas, el comportamiento varía (Tabla 3).

Al calcular la periodicidad de las entradas, la transformación rápida de Fourier (FFT) nos muestra que las entradas de los tiburones a receptores siguen un patrón dial marcado, al

tener un pico en un periodo de 24 horas, y también un patrón según las mareas, al mostrar un pico en un periodo de 12 horas (Fig. 5).

## **Marcaje Satelital**

De los 3 tiburones receptados con marcas acústicas, 2 fueron receptados con marcas satelitales. Estos son los tiburones 48890 y 26294, observados en las figuras 6 y 7 con los trayectos de color naranja y azul respectivamente. El tercer tiburón tiene un ID de 48889, observado en la figura 7 con un trayecto verde.

Los tiburones con marcas satelitales serán referidos a continuación según el color de sus trayectos, observados en las figuras 6 y 7 (Tabla 4). El trayecto naranja concuerda con los datos acústicos ya que se observan movimientos itinerantes entre Baltra y Seymour Norte, al igual que las 308 entradas de los receptores, analizados previamente (Fig. 6). Este tiburón recorrió una distancia total de 41.8 km durante 9 días, 19 horas y 48 minutos desde su marcaje. Los tiburones azul y verde tienen un trayecto diagonal en dirección noroeste y luego horizontal hacia el oeste (Fig. 7). El tiburón verde recorrió 675.2 km desde su marcaje durante 16 días, 9 horas y 45 minutos, mientras que el tiburón azul recorrió una distancia mayor, de 941.8 km, durante un tiempo similar de 16 días, 8 horas y 9 minutos (Tabla 4). La velocidad promedio varía mucho entre el tiburón naranja y los tiburones verde y azul, que varía desde 0.282 m/s a 0.782 m/s y 0.917 m/s. Esto se ve reflejado en el tipo de movimientos realizados por cada individuo, en donde el tiburón naranja tiene claramente movimientos itinerantes de navegación entre dos islas cercanas (Fig. 6) y los otros dos individuos tienen movimientos dirigidos hacia aguas oceánicas profundas (Fig. 7).

## **Tiburones Neonatos**

Los tiburones Neonatos fueron atrapados en Puerto Grande utilizando una metodología de captura con red, encerrando la playa, como hemos descrito previamente. Los resultados obtenidos fueron 3 capturas el 24 de mayo a las 17:00, una captura el mismo día a las 19:00, y una captura más el 26 de mayo a las 5:00 (Tabla 5).

# DISCUSIÓN

## Marcaje acústico

Los individuos capturados en enero del 2014 son todas hembras ya que los individuos juveniles de esta especie tienden a formar agrupaciones mayoritariamente compuestas de hembras cerca de las costas y estuarios (Klimley, 1981a; Klimley, 1981b), mientras que los machos tienen grupos grandes en montes submarinos, islotes o rocas (Ketchum et al., 2014). Esto se da porque las hembras tienen hábitats diferentes en este estado de vida y se alimentan de diferentes presas que los machos (Klimley, 1985). En otros estudios tanto en Galápagos (Hearn et al 2010, Ketchum et al 2014) como en otras partes de la región (e.g. Bessudo et al. 2011) también se han capturado más hembras que machos, por lo que se puede suponer que las hembras tienen más afinidad a la carnada usada o pasan más tiempo en la superficie.

La duración de señales emitidas por las marcas acústicas no superó los 22 días, lo que puede deberse a una falla en la aplicación de estas o al tiempo que los individuos permanecieron dentro de la RMG a menos de 200m de un receptor. Solo 3 de los 7 individuos marcados emitieron una señal, por lo tanto el tamaño de muestreo es muy bajo para inferir sobre el tipo de comportamiento grupal, y al durar tan poco tiempo no se pudo realizar un análisis sobre la residencia o fidelidad de sitio de los individuos.

En cuanto a las observaciones de patrones diales, ya se había demostrado que es un comportamiento natural de la especie (Klimley et al., 1984; Klimley et al., 1988; Bush, 2003, Ketchum et al., 2014). Sin embargo también existe un pico en el FFT realizado a las 12 horas, lo que demuestra que existe un comportamiento según las mareas. Otra razón para este comportamiento puede ser el día y la noche, ya que los tiburones descansan en el día, y cazan en la noche.

El Rao's Spacing Test prueba que cada individuo tiene una preferencia de hora en cada zona que frecuenta, por ejemplo el individuo 26296 tiene solo 3 entradas a los receptores de Baltra y Seymour Norte de día, entre las 6:00 y las 18:00, y 39 entradas en la noche de 18:00 a 6:00, lo que sugiere que utiliza esos espacios para la alimentación mas no para el descanso. El individuo 48890 tiene una mayoría de entradas a los receptores Seymour Norte y Baltra entre las 12:00 y las 19:00, por ende podríamos suponer que es una zona de descanso o está en el camino hacia sus zonas de alimentación.

## **Marcaje Satelital**

Las marcas satelitales de tipo SPOT se espera que duren entre 100 días y 2 años emitiendo señal, y en nuestro caso duraron menos de 30. Las marcas utilizadas tenían varios años de uso y probablemente no fueron conservadas en temperaturas bajas y la batería pudo degradarse. El tiburón 48890, tiene movimientos itinerantes, definidos según Peñaherrera et al. (2010), como de descanso. Esto significa que se encuentran cerca de islas, islotes, mayoritariamente observado en las regiones centro, sur este y noreste de Galápagos, realizando movimientos a baja velocidad de día. Este individuo se encuentra efectivamente en una zona entre islas e islotes, en zonas de coral o fondo rocoso, en la región central del archipiélago, y navegando a una velocidad promedio de 0.282 m/s, que es baja para un individuo de 142cm de longitud total.

Aunque el trayecto satelital finaliza el 18 de febrero de 2014, se sabe que permaneció ahí por lo menos dos días más gracias a la información de los receptores acústicos, lo que demuestra la importancia de usar ambas metodologías al marcar tiburones. El track muestra ciertos puntos en áreas terrestres que se deben al error, antes descrito, del sistema de

posicionamiento de Argos según las señales emitidas a satélites, que puede llegar a ser 3000m (Vincent et al., 2002).

Los tiburones 26294 y 48889 respectivamente demuestran movimientos direccionados, que se definen como una navegación hacia mar abierto, para mejorar su éxito alimenticio (Klimley, 1987; Peñaherrera et al., 2010). Los viajes direccionados de los tiburones verde y azul tuvieron una longitud total 675.2km y 941.8 km respectivamente, y en línea recta tienen tramos de 200 a 600 km. La distancia recorrida es excesivamente mayor a la del tiburón naranja, que a pesar de tener un trayecto 6 días más corto, su longitud de 41.8 km, y la velocidad de navegación de 5 a 6 m/s menor, muestran la diferencia marcada entre el descanso y el movimiento direccionado.

Las tallas de los tiburones con movimiento direccionado varía entre 135 cm y 157.5 cm lo que da un amplio rango en la edad que podrían tener estos tiburones para embarcarse en una travesía larga. La edad estimada de estos tiburones, según Branstetter (1986), es entre 5 y 7 años aproximadamente, lo que prueba que no necesariamente nacieron dentro de la RMG ya que un neonato pasa confinado a un mismo espacio hasta 2 años (Holland et al 1991, Holland et al 1993, Alejo-Plata et al 2007). La estimación utilizada para la edad fue seleccionada entre varias otras ya que parece ser aquella que mejor lo hace. Según Anislado et al. (2008), los martillo alcanzan los 207cm de longitud total a los 5 años de edad, lo que parece ser muy rápido, y según Piercy et al. (2007), esta especie alcanza 201cm de longitud total a los 20 años, lo que parece ser muy lento.

## **Tiburones Neonatos**

La nueva metodología de captura, aplicada a estos individuos, comprueba su eficiencia al capturar, en 3 salidas de una hora cada una, 5 individuos. Como ya se explicó previamente, 19 salidas dirigidas por Llerena en el 2010 lograron capturar un solo individuo, a pesar de que la zona de enmalle se repite. La razón por la cual los tiburones martillo son tan difíciles de capturar podría ser porque evitan las redes. En observaciones no documentadas (Alex Hearn, com. pers.) se ha visto que tiburones neonatos evaden la red si esta no está asentada en el fondo marino. Al haber más captura a las 17:00 se puede asumir que es una hora en la cual están regresando a zonas costeras, o ya se encuentran ahí para actividades como alimentación y también por seguridad.

## **Evento de Avistamiento de Juveniles**

En Galápagos se han reportado avistamientos de agregaciones de juveniles solamente en Darwin y Wolf (CITA). Este evento no es necesariamente casual, y puede haber razones fisiológicas y comportamentales detrás de esto. La primera razón es que al ser la temporada cálida de Galápagos, durante los meses de enero y febrero, la productividad en la superficie del océano es baja, sin embargo en la zona central del archipiélago existe más afloramiento de nutrientes y clorofila A por la corriente de Cromwell (Rodríguez-Rubio *et al.*, 2007). Por ende en esta zona hay mayor disponibilidad de presas y los tiburones prefieren pasar más tiempo en aguas pelágicas cerca de plataformas insulares o costas, como el tiburón 48890. De todas formas, al haber menos cantidad de nutrientes en general en la RMG, y por lo tanto de presas, los tiburones pueden tender a nadar a zonas oceánicas, por ejemplo los tiburones 26296 y 48889, como el pacífico central o del oeste, o de nadar a profundidades mayores

(Bessudo et al., 2011). La segunda razón es el cambio de dieta según la madurez de cada individuo. Los juveniles se alimentan de peces neríticos, fácilmente encontrados cerca de sus zonas de crianza, mientras que los adultos tienen presas variadas, que incluyen peces epipelágicos, rayas, langostas y sobretodo calamares (Klimley, 1982; Galván et al., 1989; Aguilar-Castro, 2003; Torres-Rojas et al. 2006; Castañeda & Sandoval, 2007).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tiburones martillo demuestran comportamientos antes documentados en la RMG y otras partes del mundo como tener patrones de movimiento diales y movimientos hacia océanos en épocas de falta de nutrientes, sin embargo se ha demostrado que también pueden tener patrones según la luz o las mareas, además de tener preferencias horarias de entrada a ciertas zonas. No se pudo comprobar si la agregación permanece a lo largo del tiempo, sin embargo se documentaron individuos que salen de la RMG con movimientos direccionados. No existen movimientos desde la agregación juvenil hacia zonas de adultos en el ETP, ni se evidencia que los juveniles fueron paridos dentro de la RMG. Es difícil proponer una hipótesis o un modelo del ciclo de vida del tiburón martillo, pero se han hecho avances importantes para continuar con la búsqueda de conocimiento de esta especie como la propuesta de una nueva metodología de captura de neonatos y la documentación de la existencia de agregaciones de juveniles en la biorregión centro-sureste.

Se recomienda continuar con el marcaje de martillos juveniles en la RMG para poder probar que existen más agregaciones de juveniles, sobre todo haciéndolo en diferentes épocas del año. Para determinar si las poblaciones juveniles y adultas, o diferentes poblaciones adultas del archipiélago tienen conectividad, es posible hacer análisis moleculares de DNA microsatélites o Next Gen Sequencing. Se recomienda realizar un estudio de la dieta de juveniles y adultos para determinar si el cambio ontogenético es una razón certera para la migración y la salida de la RMG, o si solamente es comportamental y depende de las preferencias de cada individuo. Al existir estos movimientos, no se descarta la posibilidad de que los tiburones sean capturados por barcos de pesca industrial fuera de las áreas protegidas, sino que se enfatiza en la vulnerabilidad de estos individuos ya que al tener 7 años de edad

siguen siendo juveniles, y solamente en pocos días pueden pasar de estar una zona protegida como es la RMG a estar en aguas internacionales como el Pacífico central.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Castro N. 2003. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el Golfo de California. Tesis de Maestría CICIMAR-IPN, La Paz, 121 pp
- Alejo-Plata, C., Gómez-Márquez, J. L., Ramos, S., & Herrera, E. (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. *Revista de biología marina y oceanografía*, 42(3), 403-413.
- Anislado-Tolentino, V., Cabello, M. G., Linares, F. A., & Mendoza, C. R. (2008). Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) from the Southern coast of Sinaloa, México. *Hidrobiológica*, 18(1), 31-40.
- Arias, A., Pressey, R. L., Jones, R. E., Álvarez-Romero, J. G., & Cinner, J. E. (2016). Optimizing enforcement and compliance in offshore marine protected areas: a case study from Cocos Island, Costa Rica. *Oryx*, 50(1), 18-26.
- Baum, J. K., Myers, R. A., Kehler, D. G., Worm, B., Harley, S. J., & Doherty, P. A. (2003). Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science*, 299 (5605), 389-392.
- 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 2007*

- Bessudo, S., Soler, G.A., Klimley, A.P., Ketchum, J.T., Hearn, A., Arauz, R. (2011). Residency of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) at Malpelo Island and evidence of migration to other islands in the Eastern Tropical Pacific. *Environmental Biology of Fishes* **91**:165– 176.
- 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.
- Bush, A. (2003). Diet and diel feeding periodicity of juvenile scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, in Kāne'ohe Bay, Ō'ahu, Hawai'i. *Environmental biology of fishes*, *67*(1), 1-11.
- Camhi, M. (1995). Industrial fisheries threaten ecological integrity of the Galapagos Islands. *Conservation Biology* *9*: 715–719.
- Carr, L., Stier, A., Fietz, K., Montero, I., Gallagher, A., Bruno, J. (2013). Illegal shark fishing in the Galapagos Marine Reserve. *Marine Policy* *39*: 317–321.
- Castañeda, J. D., Sandoval, L. A., Martínez-Ortíz, J., & Galván-Magaña, F. (2007). Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el Pacífico ecuatoriano. *Tiburones en el Ecuador: Casos de estudio/Sharks in Ecuador: Case studies*, 66-76.
- Castrejón, M., Charles, A. (2013). Improving fisheries comanagement through ecosystem-based spatial management: the Galapagos Marine Reserve. *Marine Policy* *38*: 235–245.

- 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.
- Clarke, S., Milner-Gulland, E., Cemare, T. (2007). Perspectives: social, economic, and regulatory drivers of the shark fin trade. *Marine Resource Economics* 22: 305–327.
- Clarke, S., Harley, S., Hoyle, S., Rice J. (2013). Population trends in Pacific Oceanic sharks and the utility of regulations on shark finning. *Conservation Biology* 27:197–209.
- Compagno, J. V. L. (1984). FAO species catalogue Vol. 4, part 2 sharks of the world: An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Cooke, S. J. (2008). Biotelemetry and biologging in endangered species research and animal conservation: relevance to regional, national, and IUCN Red List threat assessments. *Endangered species research*, 4(1-2), 165-185.
- Dapp, D., Arauz, R., Spotila, J., O'Connor, M. (2013). Impact of Costa Rican longline fishery on its bycatch of sharks, stingrays, bony fish and olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 448:228–239.
- De Santo, E. (2013). Missing marine protected area (MPA) targets: How the push for quantity over quality undermines sustainability and social justice. *J. Environ. Manage.* 124, 137–146.
- 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.

Ferrari, A. & Ferrari, A. (2001). Guide des Requins. Plus de 120 especes du monde entier.

*Delachux et Niestlé*, Paris. 256 p.

Filous, A., Friedlander, A., Wolfe, B., Stamoulis, K., Scherrer, S., Wong, A. & Sparks, R. (2017). Movement patterns of reef predators in a small isolated marine protected area with implications for resource management. *Marine Biology*, 164(1), 2.

Galván-Magaña, F., Nienhuis, H. J., & Klimley, A. P. (1989). Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. *California Fish and Game*, 75(2), 74-84.

Harris, S., Cresswell, W.J., Forde, P.G., Trehwella, W.J., Woollard, T., Wray, S. (1990). Home-range analysis using radio-tracking data—a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal Rev* 20:97–123

Hearn, A., Ketchum, J., Klimley, A. P., Espinoza, E., & Penaherrera, C. (2010). Hotspots within hotspots? Hammerhead shark movements around wolf island, Galapagos marine reserve. *Marine Biology*, 157(9), 1899-1915.

Heupel, M. R., Carlson, J. K., & Simpfendorfer, C. A. (2007). Shark nursery areas: concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series*, 337, 287-297.

Heylings, P., Bensted-Smith, R. (2002). Zonificación e historia de la Reserva Marina de Galápagos. In Reserva Marina de Galápagos: Línea Base de la Biodiversidad, Danulat E, Edgar GJ (eds). *Fundación Charles Darwin and Servicio Parque Nacional Galápagos: Santa Cruz*; 10–21.

Holland, K. N., Lowe, C. G., Peterson, J. D., & Gill, A. (1992). Tracking coastal sharks with small boats: hammerhead shark pups as a case study. *Marine and Freshwater Research*, 43(1), 61-66.

Holland, K. N., Wetherbee, B. M., Peterson, J. D., & Lowe, C. G. (1993). Movements and distribution of hammerhead shark pups on their natal grounds. *Copeia*, 495-502.

Hutchings, J.A., Myers, R.A., García, V.B., Lucifora, L.O., Kuparinen, A. (2012). Life-history correlates of extinction risk and recovery potential. *Ecological Applications* **22**:1061–1067.

Ketchum, J.T., Hearn, A., Klimley, A.P., Espinoza, E., Peñaherrera, C., Largier, J.L. (2014). Seasonal changes in movements and habitat preferences of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) while refuging near an oceanic island. *Marine Biology* **161**:755–767.

Klimley, A. P. (1981). Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. *Fish. Bull.*, 79, 356-360.

Klimley, A. P. (1981). Grouping behavior in the scalloped hammerhead. *Oceanus*, 24(4), 65-71.

Klimley, A. P. (1983). Social organization of schools of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith), in the Gulf of California. *Scripps Institution of Oceanography*.

- Klimley, A. P., & Nelson, D. R. (1984). Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: a refuging central-position social system. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *15*(1), 45-54.
- Klimley, A., Butler, S., Nelson, D., Stull, A. (1988). Diel movements of scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini* Griffith and Smith, to and from a seamount in the Gulf of California. *Journal of fish biology*, *33*(5), 751-761.
- Knip, D. M., Heupel, M. R., & Simpfendorfer, C. A. (2012). Evaluating marine protected areas for the conservation of tropical coastal sharks. *Biological Conservation*, *148*(1), 200-209.
- Kyne, P., Carlson, J., Ebert, D., Fordham, S., Bizzarro, J., Graham, R., Kulka, D., Tewes, E., Harrison, L., Dulvy, N. (2012). The conservation status of North American, Central American, and Caribbean Chondrichthyans. *Technical report. IUCN Species Survival Commission Shark Specialist Group*, Vancouver, Canada.
- Lea, R., Rosenblatt, R. (2000). Observations on fishes associated with the 1997–98 El Niño off California. *Reports of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* **41**:117–129.
- Llerena, Y. (2009). Identificación de tiburones juveniles y caracterización de sus hábitats en las zonas costeras de pesca de la isla San Cristóbal–Reserva Marina De Galápagos. *Graduate Thesis, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador*.
- Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, *405*(6783), 243-253.

- Martínez-Ortíz, J., Galván-Magaña, F., Carrera-Fernández, M., Mendoza-Intriago, D., Estupiñán-Montaño, C., Cedeño-Figueroa, L. (2007). Abundancia estacional de tiburones desembarcados en Manta–Ecuador. *Tiburones en el Ecuador: Casos de Estudio. Manta: EPESPO-PMRC*, 9-27.
- Merlen, G. (1995). Use and misuse of the seas around the Galapagos Archipelago. *Oryx* 29: 99–106.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). El Santuario Marino Darwin y Wolf se muestra al mundo a través del lente de NatGeo.
- Parrish, J. (1999) Using behavior and ecology to exploit schooling fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 55, 157–181.
- Peñaherrera, C., Ketchum, J., Espinoza, E., Hearn, A., Klimley, P. (2010). Hammerhead sharks of Galapagos: their behavior and migratory patterns. *Galapagos Report 2009-2010*. 64-69.
- Piercy, A. N., Carlson, J. K., Sulikowski, J. A., & Burgess, G. H. (2007). Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the north-west Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 58(1), 34-40.
- Robertson, D. R., & Allen, G. (2002). Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: un sistema de información. *Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá*.
- Rodríguez-Rubio, E., J. Ortiz-Gálviz and J. Rueda-Bayona. (2007). Aspectos Oceanográficos. 29-44. In: Dirección General Marítima-Centro Control

Contaminación del Pacífico y Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales-Dirección Territorial Suroccidente (Eds.). *Santuario de Fauna y Flora Malpelo: descubrimiento en marcha*. Editorial DIMAR, Serie Publicaciones Especiales Vol. 5, Bogotá. 142 p.

Sala, E. (2010). Glimpses of a pristine ocean. *TEDx*.

Schiller, L., Alava, J. J., Grove, J., Reck, G., & Pauly, D. (2015). The demise of Darwin's fishes: evidence of fishing down and illegal shark finning in the Galápagos Islands. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 25(3), 431-446.

Singleton, R., Roberts, C. (2014). The contribution of very large marine protected areas to marine conservation: Giant leaps or smoke and mirrors? *Marine pollution bulletin*, 87(1), 7-10.

Spalding, M., Meliane, I., Milam, A., Fitzgerald, F., Hale, L. (2013). Protecting marine spaces: global targets and changing approaches. *Ocean Yearbook* 27, 213–248.

Servicio Parque Nacional Galápagos (1998). Plan de Manejo de Conservación y Uso Sustentable para la Reserva Marina de Galápagos. 5-6.

Simpfendorfer, C. A., & Milward, N. E. (1993). Utilisation of a tropical bay as a nursery area by sharks of the families Carcharhinidae and Sphyrnidae. *Environmental Biology of Fishes*, 37(4), 337-345.

Springer, S. (1967). Social organization of shark populations. *Sharks, skates, and rays*, 149-172.

- Stevens, J., Bonfil, R., Dulvy, N., Walker, P. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 476-494.
- 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.
- Torres-Rojas, Y., Hernandez-Herrera, A., & Galvan-Magaña, F. (2006). Feeding habits of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in Mazatlán waters, southern Gulf of California, Mexico. *Cybium*, 30(4), 85-90.
- Vincent, C., McConnell, B. J., Ridoux, V., & Fedak, M. A. (2002). Assessment of Argos location accuracy from satellite tags deployed on captive gray seals. *Marine Mammal Science*, 18(1), 156-166.
- White, E., Myers, M., Flemming, J., Baum, J. (2015). Shifting elasmobranch community assemblage at Cocos Island—an isolated marine protected area. *Conservation Biology*, 29(4), 1186-1197.
- Zarate, P. (2002). Tiburones. In Reserva Marina de Galápagos: Línea Base de la Biodiversidad, Danulat E, Edgar GJ (eds). *Fundación Charles Darwin and Servicio Parque Nacional Galápagos: Santa Cruz*; 373–388.

## ANEXO A: TABLAS

**Tabla 1.** Datos de marcaje de tiburones martillo juveniles en la RMG.

<b>Tag ID</b>	<b>Fecha de marcaje</b>	<b>Sexo</b>	<b>Longitud Total (cm)</b>	<b># Total de Detecciones</b>	<b># Total de Visitas</b>
26294	29-Jan-14	F	134.5	9	5
26296	25-Jan-14	F	135	42	11
26302	25-Jan-14	F	140	0	0
48889	28-Jan-14	F	157.5	0	0
48890	29-Jan-14	F	142	308	86
48893	29-Jan-14	F	142	0	0
63875	26-Jan-14	F	129.5	0	0

**Tabla 2.** Duración y número de entradas por sitio de tiburones juveniles con marcas acústicas.

<b>Tag ID</b>	<b>Fecha de Inicio</b>	<b>Fecha Final</b>	<b>Número de Entradas por Sitio</b>		
			<b>Baltra</b>	<b>Seymour Norte</b>	<b>Gordon South</b>
26294	31-Jan-14	05-Feb-14	8	0	1
26296	29-Jan-14	30-Jan-14	38	4	0
48890	29-Jan-14	20-Feb-14	194	114	0

**Tabla 3.** Detalles de prueba estadística Rao's Spacing Test

<b>Tag ID</b>	<b># de Observaciones</b>	<b>Dirección del Vector de Media (hora)</b>	<b>Longitud del Vector de Media</b>	<b>Rao's Spacing Test (p)</b>
26294	9	13:04	0.403	<0.01
26296	42	0:12	0.791	<0.01
48890	308	14:59	0.462	<0.01

**Tabla 4.** Datos de los trayectos de tiburones con marcas satelitales.

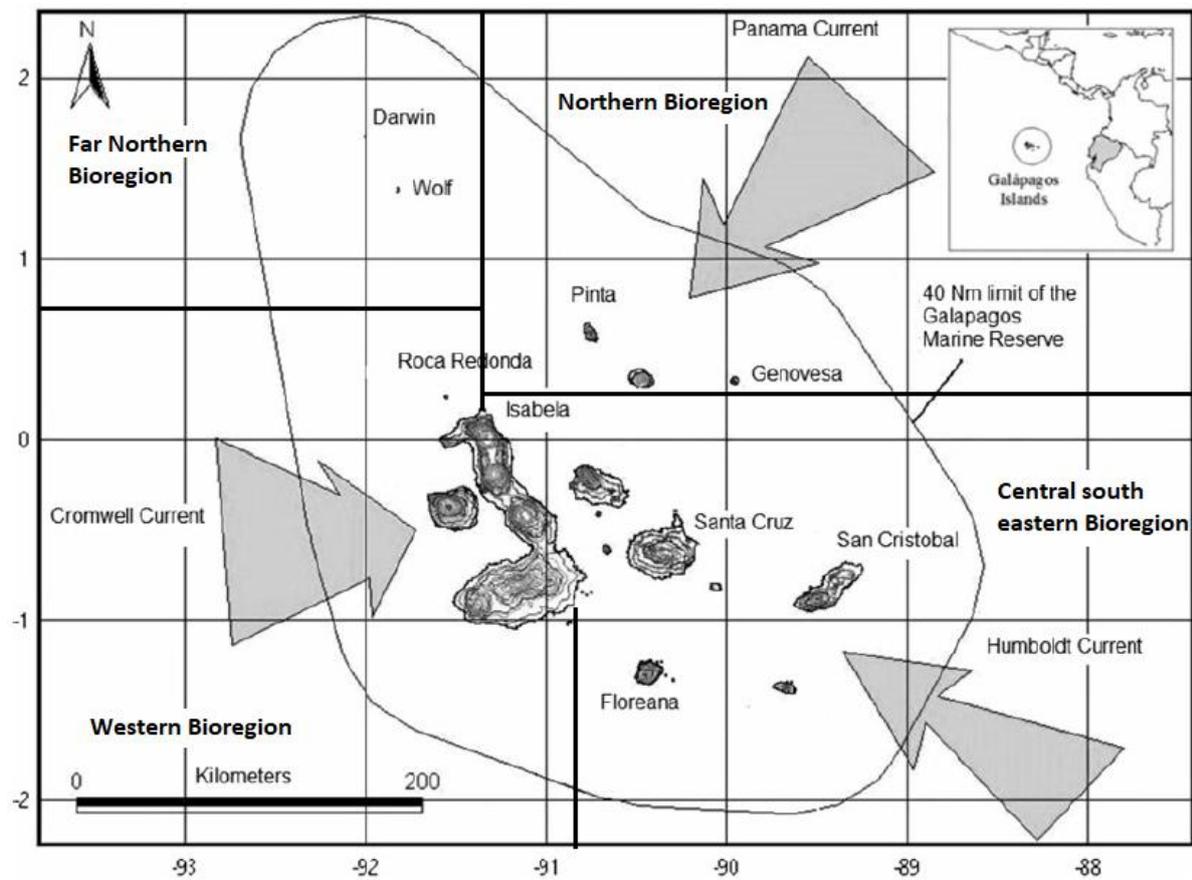
<b>Tiburón (ID y Color)</b>	<b>Distancia Total (km)</b>	<b>Duración Total (Días, Horas, Minutos)</b>	<b>Velocidad Promedio (m/s)</b>
48889 (Verde)	675.2	16 D 9 H 45 M	0.782
26294 (Azul)	941.8	16 D 8 H 9 M	0.917
48890 (Naranja)	41.8	9 D 19 H 48 M	0.282

**Tabla 5.** Captura de tiburones juveniles en Puerto Grande, extraído de Llerena, entregado.

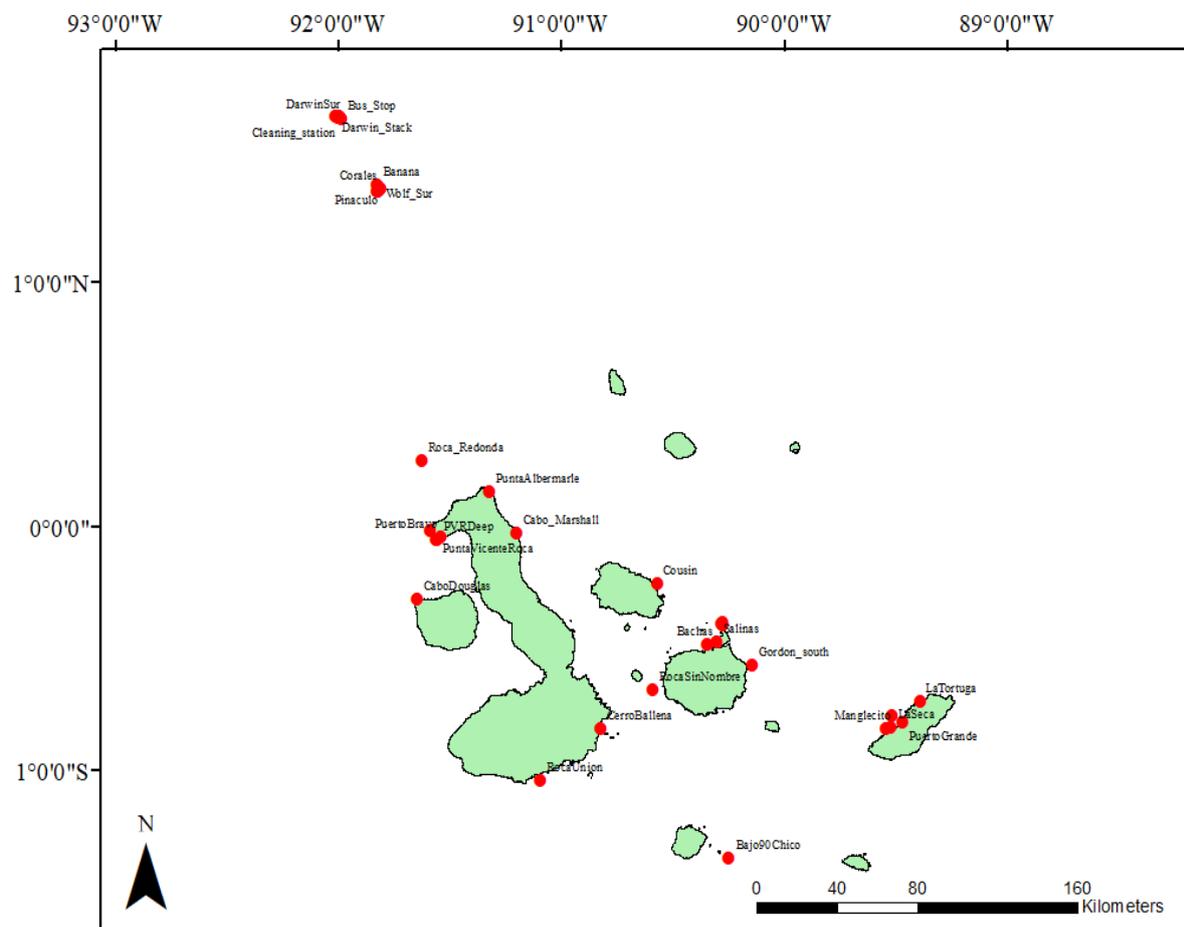
<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiburones Capturados</b>
24 Mayo	17:00	3
	19:00	1
26 Mayo	5:00	1

## ANEXO B: FIGURAS

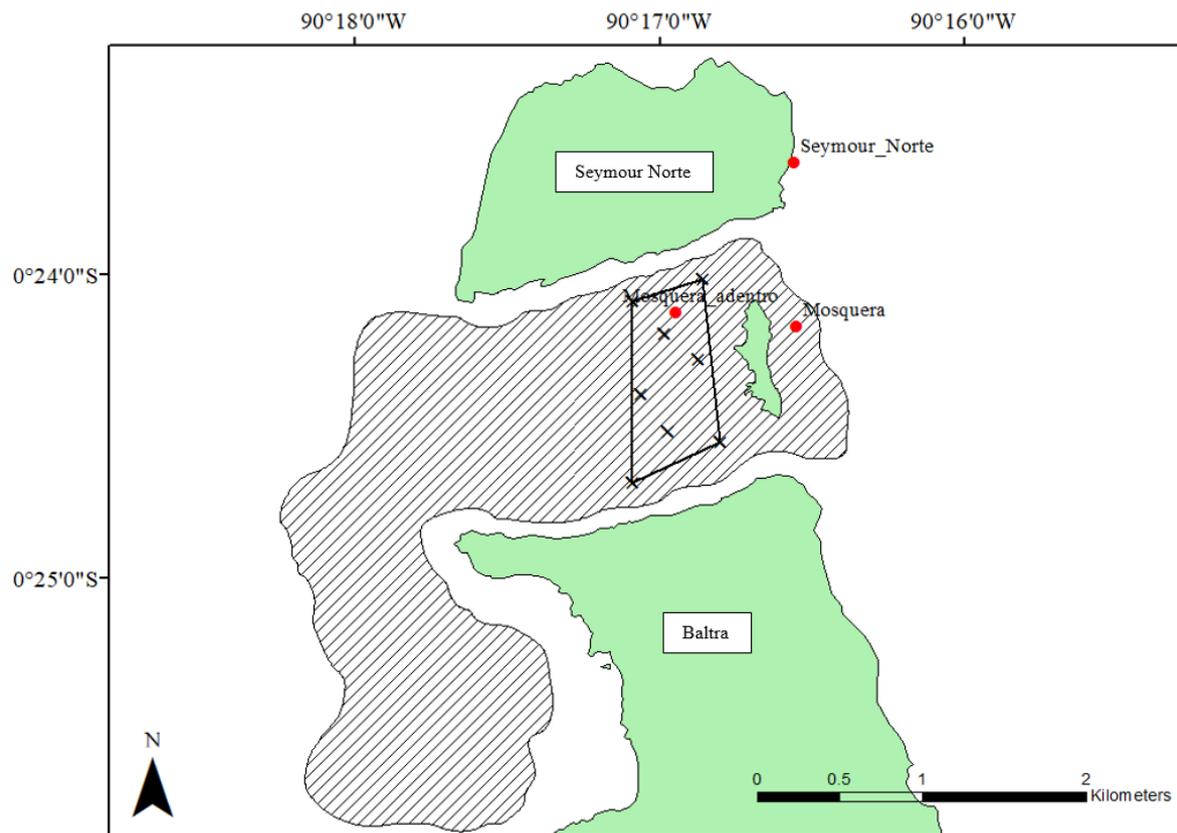
**Figura 1.** Reserva Marina de Galápagos, corrientes principales y biorregiones del Archipiélago de Galápagos. Modificado a partir de Hearn et al. 2010



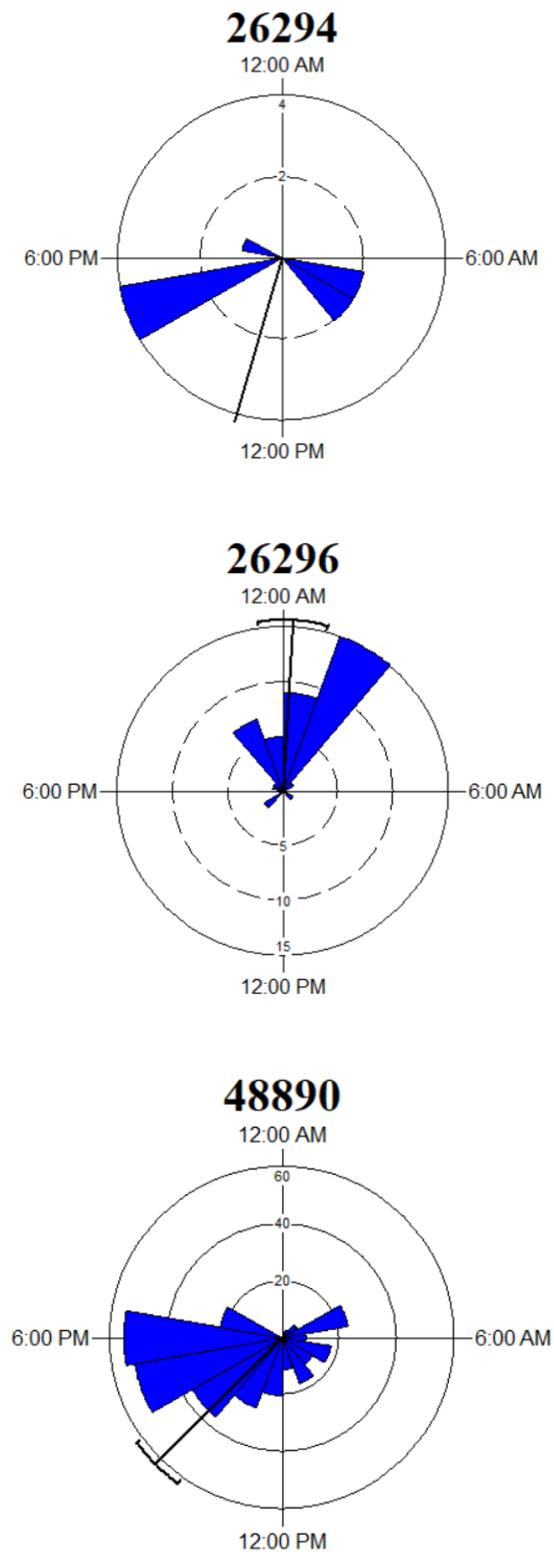
**Figura 2.** Receptores acústicos (rojo) en el Archipiélago de Galápagos



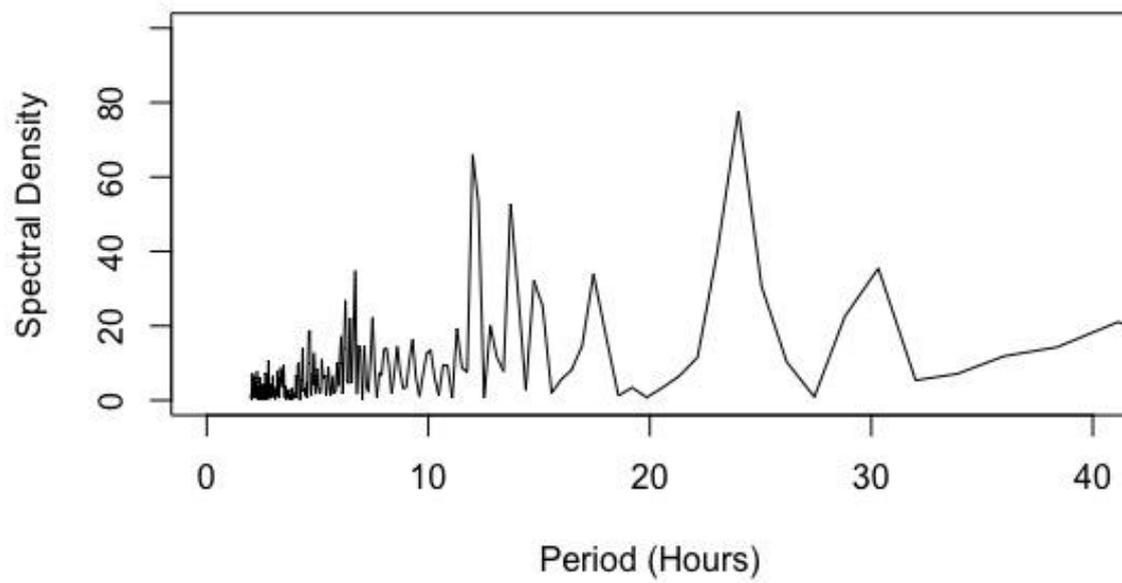
**Figura 3.** Zona de captura (bordes negros), avistamiento de tiburones (rayado) entre Baltra y Seymour Norte, con sitios de captura (cruces) y receptores acústicos (puntos rojos)



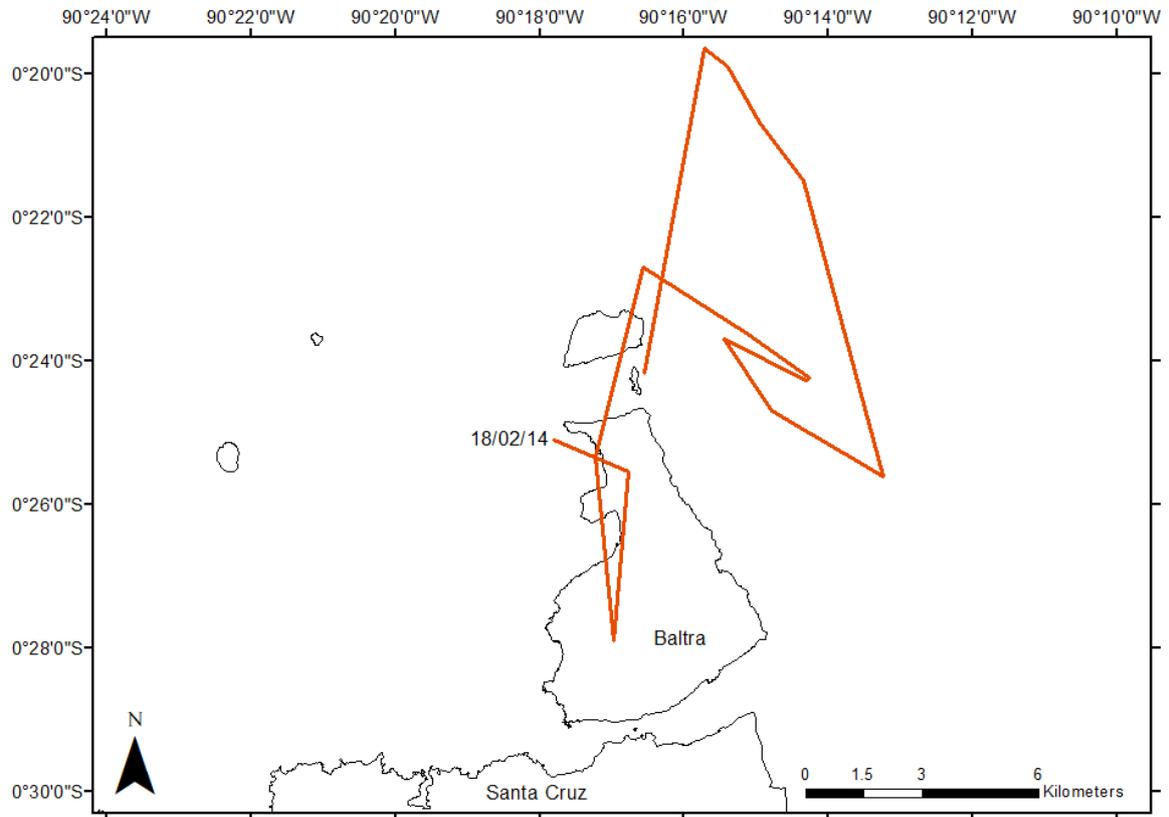
**Figura 4.** Número de entradas por hora (azul) y media con 95% de confianza (línea negra) de tiburones juveniles en receptores acústicos en Baltra, Gordon Sur y Seymour Norte.



**Figura 5.** Transformación rápida de Fourier de la hora de entrada de tiburones con marcas acústicas a receptores.



**Figura 6.** Trayectoria de un tiburón itinerante entre Baltra y Seymour Norte, con un ID de 48890, marcado en Mosquera.



**Figura 7.** Trayectoria de 2 tiburones martillo, 48889 (verde) y 26296 (azul) con movimiento direccionado hacia el oeste en el pacífico, marcados en Mosquera.

