

Tesis defendida por

Elena Nalesso

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki

Codirector del Comité

Dr. Alex R. Hearn

Codirector del Comité

Dr. Juan Manuel López Mariscal

Miembro del Comité

Dr. Jorge Cortés Núñez

Miembro del Comité

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina

Miembro del Comité

Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes

Coordinador
del Posgrado en Ecología Marina

Dr. Jesús Favela Vara

Director de Estudios de Posgrado

Octubre, 2014

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**Distribución espacio-temporal de los tiburones martillo,
Sphyrna lewini, alrededor de la Isla del Coco (2005-2013),
Pacífico Tropical Oriental**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Elena Nalesso

Ensenada, Baja California, México
2014

Resumen de la tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Distribución espacio-temporal de los tiburones martillo, *Sphyrna lewini*, alrededor de la Isla del Coco (2005-2013), Pacífico Tropical Oriental

Resumen elaborado por:

Elena Nalesso

El tiburón martillo común (*Sphyrna lewini*) es una especie altamente migratoria que se caracteriza por formar grandes agrupaciones alrededor de islas y montañas submarinas. Los machos y hembras se segregan durante ciertas fases de su ciclo de vida. En el Pacífico Oriental se han observado agregaciones de adultos, en su mayoría de hembras, en el archipiélago de Galápagos, la Isla de Malpelo, Isla del Coco y en el Golfo de California. Con el fin de entender la distribución espacio-temporal y tendencias estacionales de *Sphyrna lewini* en el Parque Nacional Isla del Coco y sus movimientos entre otras islas del Pacífico Tropical Oriental, se marcaron 84 ejemplares de *Sphyrna lewini* alrededor la Isla del Coco (Costa Rica) con transmisores acústicos durante el periodo 2005-2013, y se instalaron seis receptores acústicos alrededor de la isla para su detección. El total de tiburones marcados presentaron una residencia promedio en la isla de 0.52 ± 0.31 desviación estándar (DE), donde un valor de 1 indicaría la máxima residencia posible. Varios de los tiburones se alejaron de la isla por largos periodos de tiempo, principalmente durante los primeros meses del año. Las detecciones de tiburones promedio para cada receptor varió entre 1 a 25 días, siendo el sitio de Alcyone donde hubo una mayor presencia de tiburones (14 tiburones con una mediana de 11 días). Se encontraron diferencias significativas en la duración de las visitas entre los diferentes sitios (Kruskal – Wallis = 239.70 $p < 0.05$). Alcyone fue el receptor con las visitas más largas y frecuentes, con una mediana de 28 min por visita (con un promedio de 71.1 ± 124.4 DE min). Los receptores de Roca Sucia, Manuelita y Dos Amigos Pequeño mostraron un tiempo de residencia intermedio, mientras que los receptores de Canal y Lobster tuvieron un bajo nivel de residencia, con una mediana en la duración de las visitas de 2.3 min (con un promedio de 7.4 ± 11.8 DE min) y de 3.9 min (con un promedio de 7.4 ± 8.5 DE min) respectivamente. Se observó una mayor permanencia de los tiburones cerca de los receptores durante el día en comparación con la noche. De los 84 *S. lewini* marcados en la Isla del Coco, solo un individuo fue detectado en Galápagos, tardando 10 días para su desplazamiento. Al contrario, cinco tiburones marcados en Islas Galápagos visitaron la Isla del Coco, dos de los cuales realizaron un movimiento de ida y vuelta entre estas dos islas. Asimismo, cuatro individuos marcados en Isla Malpelo se detectaron en la Isla del Coco, aunque solo uno realizó un movimiento de ida y vuelta. El índice de avistamientos de tiburones martillo común aumenta a inicios de la estación fría (julio) y disminuye a finales de ésta (diciembre), presentando lo que parece ser una estacionalidad bastante definida. Con base en las bitácoras de avistamientos de los guías de buceo, se determinó una disminución de *Sphyrna lewini* de aproximadamente el 40% en los últimos 21 años.

Palabras clave: ***Sphyrna lewini*, Telemetría Acústica, Isla del Coco.**

Abstract of the thesis presented as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Spatio-temporal distribution of hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, around Coco's Island (2005-2013), Eastern Tropical Pacific

Abstract by:

Elena Nalesso

The scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) is a highly migratory species which schools in large numbers around offshore islands and seamounts. Males and females are segregated during certain phases of their life cycle. Schools of adults, mostly females have been observed in the Eastern Pacific in the Galapagos Islands, Malpelo Island, Coco's Island and in the Gulf of California. In order to understand the spatio-temporal distribution and seasonal trends of the scalloped hammerhead sharks in Coco's Island National Park and the movement between other islands of the Tropical Eastern Pacific, 84 specimens of *Sphyrna lewini* were tagged around Coco's Island (Costa Rica) with acoustic transmitters during the period 2005-2013, six acoustic receivers were deployed around the island in order to detect the sharks. The average residence index for sharks at the island was 0.52 ± 0.31 standard deviation (SD), where a value of 1 would indicate the maximum residence. Several sharks moved away from the island for long periods of time, especially during the first months of the year. Sharks were detected by receiver location on average 1-25 days, spending more days in Alcyone (14 sharks with a median of 11 days) than at the other sites. Significant differences in the duration of visits between sites (Kruskal- Wallis = 239.70 $p < 0.05$) were found. Alcyone received longer and more frequent visits, with a median of 28 min per visit (average value 124.4 ± 71.1 min SD). The receivers of Roca Sucia, Manuelita and Small Dos Amigos showed an intermediate residence time, while receivers of Canal and Lobster had a low level of residence, with a median of 2.3 min (average value 7.4 ± 11.8 min) and 3.9 min (average value 7.4 ± 8.5 min DE) respectively. Sharks stayed near the receivers longer during the day compared to the nighttime. Of the 84 *S. lewini* tagged at Coco's Island, only one individual was detected in Galapagos, ten days after its last detection at Coco's. Five sharks tagged in Galapagos visited Coco's Island, two of which made a return movement between these two islands. In addition, four individuals tagged at Malpelo were detected in Coco's Island, though only one made a round trip movement. The index of sightings of scalloped hammerhead sharks increases in the early cold season (July) and decreases at the end of this (December), featuring what appears to be a fairly well defined seasonality. Based on the dive logbooks sightings, *Sphyrna lewini* decreased approximately 40% in the last 21 years.

Keywords: ***Sphyrna lewini*, Acoustic Telemetry, Coco's Island.**

Dedicatoria

*A Randall Arauz, por su
dedicación y esfuerzo*

Agradecimientos

A mis padres por creer en mi y por darme el apoyo para seguir volando por el mundo, sobre todo a mi mamá, gracias por ser mi mejor amiga y confidente.

Al Dr. Oscar Sosa, gracias por creer en mi desde el primer día, por apoyarme siempre al 100% en este trabajo y en todo lo que me propongo. Gracias por sacarme siempre una sonrisa y por aguantar cada una de mis bromas y múltiple repertorio musical, me enorgullezco de poder decir que fui su alumna y que mucho de lo que aprendí fue gracias a usted.

Al Dr. Alex Hearn, gracias por enseñarme todo lo que se de tiburones martillo y telemetría acústica, por enseñarme a pensar y ver las cosas desde otro ángulo, por guiarme en este trabajo y tener siempre tiempo para escuchar mis dudas e inquietudes.

Al Dr. Jorge Cortés, gracias por la motivación que me brindó desde que lo conocí para poder trabajar en la Isla del Coco, por ayudarme y guiarme a poder alcanzar mi sueño.

Al M. en C. Vicente Ferreira, por ayudarme a pensar y razonar, y confiar en mi misma, espero ambos hayamos aprendido mucho de este trabajo.

Al Dr. Manuel López, gracias por interesarse en este trabajo, el apoyo, aportaciones y el tiempo que le dedicó es invaluable.

Al CONACYT por la beca de maestría N° [275797](#) proporcionada.

A CICESE por estos 2 años de educación, aprendí mucho y me llevo mucho de esta gran institución.

A Randall Arauz, por confiarme 8 años de su trabajo y darme esta gran oportunidad, espero que los resultados sean de gran ayuda para futuros proyectos y que esta amistad siga por mucho tiempo, siempre he creído en su trabajo y estoy muy feliz de formar parte de él.

Gracias a la compañía Undersea Hunter por el acceso a las bitácoras de buceo y por colaborar con este trabajo, y a todos los divemaster de la compañía que durante muchos años se esmeraron en recolectar tan valiosa información.

Gracias a las organizaciones de PRETOMA, Fins Attached, Turtle Island Restoration Network, y a toda la tripulación del Sea Hunter por la maravillosa e inolvidable oportunidad de poder trabajar en la Isla del Coco durante el desarrollo de mi tesis y hacer cada buceo inolvidable.

A los guardaparques de la Isla del Coco, por recibirme la primera vez en la isla y vivirla en todo su esplendor, y por el gran trabajo que realizan para cuidar ese paraíso.

Un mega agradecimiento al Laboratorio de Ecología Pesquera, gracias por las risas, los cafés, las fiestas, las comidas, el apoyo incondicional, y las salidas de campo (cortas pero inolvidables). Gracias a cada uno de ustedes Erick, Laura, Luz, Alma, Asier,

Masao, Oscar, Tere, Vero, Elea, Fer, Kena, Reina, Leilani, pero sobre todo a Carmen por tenerme esa infinita paciencia con la “cadenita del Cristo de Nazareno” y a Emiliano gracias por todos los consejos y por ayudarme en todas mis dudas, te debo muchísimo, creo que serás un excelente doctor, para mi ya lo eres.

A los que fueron por mucho tiempo mi familia aquí en Ensenada: Rache, Amparito, Turri, Fulli, Mateo que viene de camino, Frida y sobre todo tu Emi gracias por el inmenso apoyo que me has dado durante todos estos años y por estar siempre ahí.

A todo el equipo de las Chonitas que alegraron mis tarde durante todo un año. A mis compañeros y amigos: Pau, Aidee, Laura, Andrea, Ceci, Fer, Celi, Anto, Laurica, las Karens, Edgar, Luis, Gerardo, Juanma, Rubén y Victor; muchas gracias por estos dos años de alegrías y aventuras que me han regalado.

A mis amigos de Ensenada y otros rincones de México, Costa Rica, España e Italia que durante todo este tiempo estuvieron presentes de alguna u otra forma, para mi la distancia es solo un factor porque los llevo siempre en mi corazón.

Tabla de contenido

	Página
Resumen español.....	ii
Resumen inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
1. Introducción.....	1
1.1. Biología de <i>Sphyrna lewini</i>	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Justificación.....	7
2. Objetivos.....	9
2.1. General.....	9
2.2. Específicos.....	9
3. Hipótesis.....	10
4. Metodología.....	11
4.1. Área de estudio.....	11
4.2. Telemetría acústica.....	13
4.2.1. Prueba de rango de detección.....	17
4.3. Avistamientos de <i>S. lewini</i>	17
4.4. Análisis de datos.....	18
4.4.1 Análisis de los datos de telemetría acústica.....	18
4.4.2 Análisis de los avistamientos.....	19
5. Resultados.....	21
5.1. Movimientos generales.....	21
5.2. Distribución espacio-temporal.....	26
5.3. Descripción de los movimientos horizontales.....	29
5.4. Patrones diales.....	31
5.5. Movimientos interinsulares.....	33
5.6. Tendencias estacionales y anuales.....	35
5.7. Relación entre factores oceanográficos y los avistamientos de <i>S. lewini</i>	38
6. Discusión.....	41
6.1. Movimientos en la Isla del Coco.....	41
6.2. Movimientos interinsulares.....	46
6.3. Patrones estacionales, temporales y oceanográficos.....	49
6.4. Implicaciones para el manejo y la conservación.....	52

Tabla de contenido (continuación)

7. Conclusiones	55
Lista de referencias	57
Apéndices	65

Lista de figuras

Figura		Página
1	Distribución mundial de <i>Sphyrna lewini</i> (Tomado de Ebert <i>et al.</i> , 2013).....	1
2	Batimetría alrededor de la Isla del Coco (Tomado de Lizano, 2001).....	12
3	Promedios trimestrales de la velocidad (ms^{-1}) de las corrientes en la superficie del mar en la región del Pacífico Tropical Oriental. A) Enero-Marzo, B) Abril-Junio, C) Julio-Septiembre y D) Octubre-Diciembre (Tomado de Lizano, 2008).....	13
4	Ubicación geográfica de la Isla del Coco. Los puntos representan la ubicación de los receptores automatizados alrededor de la isla. El recuadro indica la ubicación de la isla en el Pacífico Tropical Oriental.....	15
5	Tiempo de actividad para cada receptor durante el período de estudio.....	16
6	Índice de residencia para cada tiburón como función del número de días activo.....	22
7	Cronograma de presencia para 84 <i>S. lewini</i> marcados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013, en rojo se representan las detecciones en Galápagos. ID= número de identificación del tiburón.....	23
8	Número de tiburones activos y el porcentaje de tiburones detectados (n° tiburones presentes/ n° tiburones activos) para el período de estudio 2005-2013. Las flechas rojas indican eventos importantes de marcaje.....	25
9	Número de días presente por sitio (mediana, cuartiles, error estándar y puntos extremos) de 17 (N) <i>S. lewini</i> , marcados en la Isla del Coco.....	26
10	Tiempo de residencia (mediana, cuartiles, error estándar y puntos extremos) en minutos para 17 <i>S. lewini</i> en los diferentes sitios de recepción, la línea delimita el tiempo de residencia (>15 min) y tiempo de paso (<15 min). N=número total de visitas.....	28
11	Número de detecciones por intervalo de hora, durante el período 2005-2013, para 84 (N) tiburones. Las áreas sombreadas desde las 00:00 a 06:00 y desde las 18:00 a 00:00 representan el período nocturno.....	32
12	Detecciones para cada sitio, representado como un porcentaje día/noche para el período de septiembre 2011 a noviembre 2013. Las barras blancas figuran el porcentaje de detecciones del día y las negras de la noche. Los números representan la cantidad de detecciones para cada sitio. N=número de tiburones.....	33

Lista de figuras (continuación)

13	Cronograma de los <i>S. lewini</i> marcados en Galápagos y Malpelo, y sus detecciones en las otras islas del Pacífico Tropical Oriental.....	34
14	Promedio mensual de tiburones avistados/buceo, durante los viajes de buceo realizados entre 1992 hasta el 2013 en diferentes sitios alrededor de la Isla del Coco. Las áreas sombreadas representan la estación fría.....	37
15	Anomalías de la temperatura superficial del mar para la región de El Niño 3, entre 1992-2013. Las zonas sombreadas indican los episodios cálidos ($> 1^{\circ}\text{C}$) y fríos ($< 1^{\circ}\text{C}$).....	37
16	Relación lineal entre la TSM ($^{\circ}\text{C}$) y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).....	38
17	Relación lineal entre la salinidad y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).....	39
18	Relación lineal entre la velocidad de la corriente y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).....	40
19	El Pacífico Tropical Oriental, mostrando en amarillo las áreas de crianza de <i>S. lewini</i> (Tomado de Ketchum, 2011).....	49

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Ubicación de los receptores instalados en la Isla del Coco, coordenadas, fechas de instalación y profundidad de cada receptor.....	16
2	<i>Sphyrna lewini</i> marcados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013 (H: hembra, M: macho, ND: no determinado). ID=número de identificación del tiburón.....	24
3	Prueba <i>a posteriori</i> de comparaciones múltiples entre medianas (análisis múltiple de Kruskal) del número de días presente por tiburón en cada sitio.....	27
4	Prueba <i>a posteriori</i> de comparaciones múltiples entre medianas (análisis de múltiple de Kruskal) del tiempo de residencia de los tiburones en cada sitio.....	29
5	Promedios y desviaciones estándar del número de viajes realizados por los tiburones entre los diferentes receptores. Entre paréntesis el número de tiburones que realizaron el viaje.....	31
6	<i>Sphyrna lewini</i> marcados en Galápagos y Malpelo, que son detectados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013 (H: hembra, M: macho, ND: no determinado).....	34
7	Movimientos entre las islas de Galápagos, Malpelo e Isla del Coco.....	35
8	Comparación del modelo general lineal.....	36

1. Introducción

El tiburón martillo común (*Sphyrna lewini*) se distribuye en aguas templadas, cálidas y tropicales del mundo. En el Pacífico Oriental se encuentra desde el sur de California (E.U.A), incluyendo el Golfo de California, hasta Panamá, Ecuador y posiblemente el norte de Perú (Fig. 1) (Compagno, 1984). *Sphyrna lewini* se caracteriza por ser una especie costero-pelágica, que se encuentra tanto en las plataformas continentales como insulares y en las aguas profundas asociadas, aunque también suelen entrar a bahías y estuarios (Compagno, 1984).

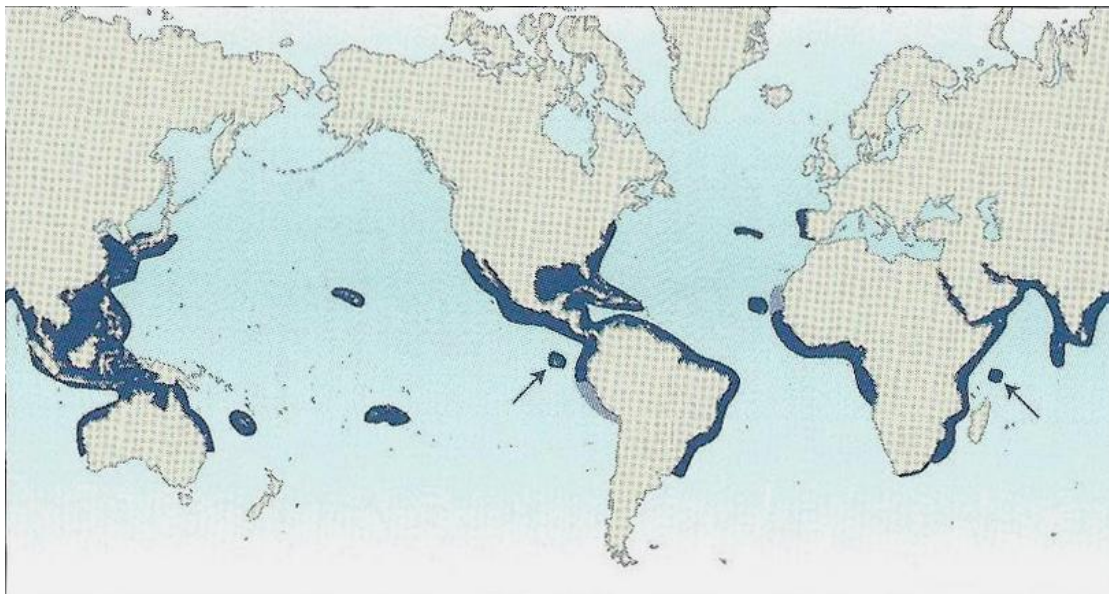


Figura 1. Distribución mundial de *Sphyrna lewini* (Tomado de Ebert *et al.*, 2013)

Sphyrna lewini se mueve desde la superficie hasta profundidades de al menos 980 m, soportando grandes intervalos de temperatura, de 27 a 8°C en aguas superficiales y de 8 a 4°C en sus descensos a aguas más profundas (Klimley *et al.*, 1993; Jorgensen *et al.*, 2009; Bessudo *et al.*, 2011a; Hoffmayer *et al.*, 2013). Sin embargo muestra preferencia por profundidades someras por encima de la termoclina durante el día, realizando cortas excursiones a grandes profundidades de noche (Hoffmayer *et al.*, 2013; Ketchum *et al.*, 2014a).

Ciertas especies de tiburones se caracterizan por ser altamente migratorias y por formar grandes agrupaciones alrededor de islas y montañas submarinas; hábitats que se

distinguen por ser muy productivos y con una gran diversidad de especies (Klimley *et al.*, 2005). Es el caso de *S. lewini* quien tiene una gran movilidad, formando grandes cardúmenes que pueden migrar recorriendo largas distancias (Hearn *et al.*, 2010; Bessudo *et al.*, 2011b) y formar grandes poblaciones residentes (Compagno, 1984). Los juveniles y adultos de esta especie pueden encontrarse como individuos solitarios, en pareja o en grandes cardúmenes. Este comportamiento de agrupación se ha documentado durante las migraciones de verano fuera de la costa de Sud África, así como en poblaciones residentes, tales como las del Mar de China (Compagno, 1984). Los machos y hembras adultos pueden segregarse durante ciertas fases de su ciclo de vida (Klimley, 1987). Esta segregación también ocurre entre juveniles y adultos (Bush y Holland 2002; Duncan y Holland 2006).

Este comportamiento gregario puede contribuir a aumentar el riesgo de la captura por artes de pesca. En las últimas dos décadas, existe una creciente preocupación a nivel global sobre el estado poblacional de muchas especies de tiburón por sus características biológicas (lento crecimiento, madurez sexual tardía y baja tasa de reproducción) y el aumento en la demanda de aletas de tiburón. En la actualidad se cree que el 25% de las poblaciones de tiburones del mundo están amenazados (Dulvy *et al.*, 2014). Recientemente, *S. lewini* fue catalogado como especie Amenazada según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) y desde el año 2013, dentro del Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, por sus siglas en inglés) que regula las capturas y comercio internacional de la especie. En 2014, Costa Rica y Ecuador propusieron su inclusión en el Apéndice II de la Convención de Especies Altamente Migratorias (CMAR).

En el Pacífico Oriental, se han observado agregaciones de adultos, en su mayoría de hembras, en zonas oceánicas, sobre montañas submarinas y cerca de islas, especialmente en el archipiélago de Galápagos (Ecuador), la Isla de Malpelo (Colombia), Isla del Coco (Costa Rica) y en el Golfo de California (México) (Klimley, 1987; Hearn *et al.*, 2010; Bessudo *et al.*, 2011b). Las agregaciones de neonatos y juveniles son más comunes en hábitat cercanos a la costa, como en Kāne'ohe Bay en Oahu, Hawaii (Duncan y Holland, 2006), la costa de Oaxaca, México (Bejarano-Álvarez

et al., 2011) y algunas bahías en Costa Rica (Zanella *et al.*, 2009). Existen varias hipótesis del porqué se reúnen en lugares tan específicos, relacionadas con la concentración de alimento, las interacciones sociales, apareamiento, zonas de descanso y para facilitar la digestión (Klimley y Nelson, 1987; Lorange *et al.*, 2002; McFarland y Levin, 2002; Hearn *et al.*, 2010).

Las agregaciones de adultos en algunos sitios forman la base de una nueva industria de turismo de buceo, mientras que las agregaciones de juveniles son objeto de pesca por parte de pescadores artesanales en la costa de Costa Rica, (López-Garro *et al.*, 2009; Zanella *et al.*, 2009). El manejo sostenible y la protección de especies amenazadas transfronterizas requieren de una coordinación internacional. Bajo este precepto, en 2004, Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador firmaron el Acuerdo de San José, creando el Corredor Marino del Pacífico Este Tropical, un área de más de 2 millones de hectáreas de aguas nacionales de los cuatro países.

En 2006, se creó la red Migramar, que es una colaboración de grupos de investigación enfocados en entender los patrones migratorios y la conectividad de especies marinas pelágicas en la región (www.migramar.org). Uno de los objetivos principales de este grupo es el de estandarizar metodologías y tecnologías de investigación en la región, coordinar prioridades de investigación y colaborar para establecer la existencia de corredores migratorios.

Con el tiempo, el estudio de animales a través de nuevas tecnologías se ha convertido en una importante herramienta para la ecología. La telemetría acústica se ha utilizado exitosamente en tiburones para estudios de mayor escala temporal, para ver patrones de movimiento y fidelidad a los sitios (Lowe *et al.*, 2006). Además, ha sido muy importante para estudios a corto plazo de utilización y preferencia de hábitat en tiburones. Sin embargo, el estudio de patrones de movimiento a largo plazo se ha vuelto cada vez más necesario; anteriormente los equipos utilizados para este tipo de trabajos eran de gran tamaño y muy costosos, lo que limitaba los científicos a utilizar pocos receptores cubriendo solo una pequeña área de estudio (Simpfendorfer y Heupel, 2004). Conforme la tecnología ha ido avanzando los receptores se volvieron más

pequeños y accesibles económicamente, permitiendo el uso de estos aparatos en áreas más grandes y por largos períodos de tiempo (Voegeli *et al.*, 2001).

Las investigaciones sobre movimientos de tiburones en la Isla del Coco iniciaron en el 2005, con el monitoreo de tiburones martillo común (*S. lewini*) utilizando telemetría acústica. Desde entonces, los diferentes grupos dentro de la red Migramar, quienes dirigían investigaciones paralelas en el archipiélago de Galápagos y Malpelo, decidieron utilizar un sistema de monitoreo acústico que facilitara el intercambio de información. Receptores similares fueron instalados desde Isla Guadalupe (México), hasta la Isla de la Plata (Ecuador), sumando así una red regional con más de 100 puntos de detección (www.migramar.org).

El presente estudio presenta información sobre el patrón de residencia de *Sphyrna lewini* en el Parque Nacional Isla del Coco y su utilización en diferentes sitios alrededor de la isla. Los resultados complementan los estudios de esta especie en otras islas de la región, incluyendo La Reserva Marina de Galápagos y el Santuario de Flora y Fauna de Malpelo.

1.1. Biología de *Sphyrna lewini*

Los tiburones martillo pertenecen a la familia Sphyrnidae del orden Carcharhiniformes. Actualmente el género *Sphyrna* comprende ocho especies (Pinhal *et al.*, 2012), entre ellas *Sphyrna lewini*, conocida como tiburón martillo común o cornuda común (Compagno, 1995; Duncan *et al.*, 2006). Esta especie se caracteriza por tener un cuerpo alargado y una peculiar cabeza con forma de martillo, plana lateralmente, con una muesca central en la región anterior y dos hendiduras laterales; los ojos se localizan en los extremos de la cabeza (Compagno, 1995).

Alimentación.- *S. lewini* está considerado como un depredador de un alto nivel trófico, 4.1 (Cortés, 1999). Se alimenta principalmente de cefalópodos, peces, crustáceos y rayas (Cortés, 1999), aunque se ha visto que otras especies de tiburones también

pueden ser una base importante de su dieta (Stevens y Lyle, 1989). Las preferencias en la alimentación están asociadas principalmente con los cambios ontogénicos, lo que indicaría una diferencia en la ocupación del hábitat entre juveniles y adultos que conlleva a depredar sobre diferentes especies (Estupiñán-Montaño *et al.*, 2009).

Edad y crecimiento.- Las hembras alcanzan la madurez sexual alrededor de los 200-250 cm de longitud total (LT), mientras que los machos llegan a la madurez a tallas más pequeñas 128-200 cm (LT), aunque esto puede variar según la región (Castro, 2011). Para el Pacífico mexicano, Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza (2001) en las costas de Michoacán, reportaron que las tallas de primera madurez sexual para las hembras eran de 223 cm, con una edad aproximada de 5.8 años y para los machos de 170 cm, con una edad de 4.3 años. Se ha caracterizado *S. lewini* como una especie longeva (20-30 años), con madurez sexual tardía y crecimiento relativamente lento. En el Pacífico Oriental, Anislado-Tolentino *et al.* (2008) reportan una tasa de crecimiento para *S. lewini* de $k=0.123 \text{ año}^{-1}$ para los machos y $k=0.1 \text{ año}^{-1}$ para las hembras. Una tasa de crecimiento de $k\approx 0.1 \text{ año}^{-1}$ indicaría un crecimiento lento para los tiburones, como es el caso de *S. lewini* (Branstetter 1990).

Reproducción.- *S. lewini* es una especie vivípara placentada, con un periodo de gestación de 9-12 meses, con nacimientos durante la primavera y verano, seguido por un periodo de descanso de un año (Branstetter, 1987; Stevens y Lyle, 1989). Las hembras se mueven a aguas costeras para dar a luz, teniendo de 1-41 crías vivas por camada (Miller *et al.*, 2013).

1.2. Antecedentes

Las primeras observaciones sobre la posible función y comportamiento de las agregaciones de *S. lewini*, se realizaron por Klimley y Nelson (1981) en el Golfo de California, México. En su estudio, encontraron que la composición de estas agrupaciones estaba conformada por individuos de diferentes tamaños, y de ambos sexos. No obstante estos cardúmenes estaban compuestos principalmente de hembras, que mostraban cicatrices de mordeduras entre la primera y segunda aleta dorsal, lo cual

es característico en el cortejo de apareamiento en ciertas especies de tiburones (Klimley, 1980). La presencia de estas cicatrices plantea la posibilidad de que las agregaciones de *S. lewini* puedan tener una función reproductiva.

Klimley y Nelson (1984), analizaron los patrones de movimiento, mediante el rastreo de 13 *S. lewini* cerca de El Bajo Espíritu Santo, México. Observaron que durante el día los tiburones se mantenían cercanos a los montes submarinos, entre los 25-30 m de profundidad, y al anochecer todos los ejemplares marcados se alejaban hacia aguas más profundas, moviéndose en un área de mayor extensión comparada con aquella utilizada durante el día. Este comportamiento es parte de un complejo sistema social descrito por Hamilton y Watt (1970), conocido como “sistema de refugio”, este consiste en un gran grupo de animales que permanecen en una pequeña área durante la fase de inactividad de su ciclo dial y que se dispersan grandes distancias en un área de alimentación para forrajear en pequeños grupos o individualmente. Para ésta especie, el “sistema de refugio” puede funcionar para optimizar la producción de energía. Estos desplazamientos día/noche también fueron descritos posteriormente por Holland *et al.*, (1993) en Hawaii, al observar que los juveniles de *S. lewini* presentaban una mayor actividad durante la noche que en el día y que su centro de actividad se desplazaba entre el día y la noche. Este mismo patrón ha sido observado en Isla Malpelo (Bessudo *et al.*, 2011b) y en las Islas Galápagos (Ketchum *et al.*, 2014a).

Hearn *et al.* (2010) en su estudio en Islas Galápagos, mediante el marcaje acústico de 71 *S. lewini* y la instalación de ocho receptores acústicos en diferentes sitios alrededor de las islas de Darwin y Wolf, observaron que la abundancia máxima de tiburones en las islas ocurría de enero a febrero con un segundo pico de abundancia de agosto a octubre, coincidiendo con la estación fría de la zona que va de junio a noviembre; además de que las agrupaciones de *S. lewini* estaban compuestas principalmente de hembras. Encontraron que la población de *S. lewini* en Galápagos tenía una preferencia a sitios específicos de las islas asociados a zonas que se veían afectadas por la corriente de forma directa, asociadas con la presencia de un mayor número de especies pelágicas. Observaron cómo los tiburones usaban ciertos sitios como estaciones de limpieza, estos lugares resultaban ser un atractivo turístico por la misma razón.

Bessudo *et al.* (2011b) realizaron un estudio de tres años para entender los patrones dial y estacionales, los movimientos horizontales y verticales, y fidelidad al sitio de 69 individuos de *S. lewini* marcados con transmisores ultrasónicos que trabajaban en conjunto con seis receptores acústicos situados alrededor de la Isla de Malpelo, Colombia. Observaron que existe una conectividad entre las poblaciones de tiburones de la Isla Malpelo con las de Isla Galápagos y la Isla del Coco. Las agregaciones más grandes de tiburones ocurrían de enero a marzo, coincidiendo con la estación fría de la zona que va de enero a abril. La mayoría de los tiburones marcados abandonaban la isla entre marzo e inicios de abril, con el inicio de la estación cálida. Durante los primeros meses del año se identificó un gran número de hembras aparentemente preñadas, lo que respaldaría la hipótesis de que estos individuos dejan la isla para moverse a zonas de crianza, y regresar unos meses después del parto. Igual que Klimley *et al.* (1988), encontraron un patrón dial en los movimientos de los tiburones, donde las detecciones nocturnas de estos alrededor de la isla fueron más frecuentes durante la estación fría que la cálida.

1.3. Justificación

La Isla del Coco forma parte del Sistema Nacional de áreas Naturales Protegidas (SINAC) de Costa Rica. Grandes áreas protegidas alejadas del continente pueden ser buenos indicadores de cómo funcionan los ecosistemas marinos en ausencia de influencias humanas (Friedlander y DeMartini 2002).

Aunque son muchas las especies de tiburones que se ven amenazadas por la constante presión pesquera, *S. lewini* ha demostrado ser particularmente vulnerable a las pesquerías internacionales (Miller *et al.*, 2013). Una de las grandes preocupaciones del Parque Nacional Isla del Coco, es como las poblaciones de tiburones ha disminuido en los últimos años, ya que se ha reportado una visible reducción en la población de *S. lewini* (Sibaja-Cordero, 2008). Se presume que este decremento es debido a la explotación pesquera que se realiza alrededor de la isla, fuera del área marina protegida (12 millas náuticas).

Debido a la naturaleza altamente migratoria de los tiburones, es importante obtener la mayor cantidad de información científica acerca de sus movimientos y preferencia a distribuirse en ciertas áreas. Actualmente ya se tienen resultados de estudios previos con marcación acústica de *S. lewini* en Isla Galápagos y en Isla Malpelo, y junto a los resultados de la Isla del Coco se completaría una importante fuente de información científica. Esta información permitirá una mejor evaluación del nivel de protección real que se puede brindar en las islas y al mismo tiempo corroborar si existe una conectividad entre las poblaciones de *S. lewini* de la Isla del Coco con las otras islas del Pacífico Tropical Oriental (PTO), lo cual conllevaría a una mejora en políticas de conservación y manejo holístico, tanto en el ámbito local como nacional e internacional, ya que algunos tiburones podrían estar utilizando a la Isla del Coco como un lugar de paso antes de emprender su viaje a regiones costeras del continente para alumbrar a sus crías. Esto sentaría las bases para posteriores investigaciones que permitan determinar la existencia o no de un corredor biológico.

Además, *S. lewini* es una especie emblemática de la Isla del Coco por ser uno de los mayores atractivos turísticos para los buzos de todo el mundo que viajan para poder observar las grandes agrupaciones de esta especie en ciertos sitios alrededor de la isla. Esta especie representa un importante beneficio económico para el parque y para la economía de Costa Rica, con un ingreso bruto nacional de US\$5,788,644.35 para el 2010 (Moreno-Díaz, 2012).

2. Objetivos

2.1. General

Entender la distribución espacio-temporal de *S. lewini* en las aguas protegidas del Parque Nacional Isla del Coco en el Pacífico Tropical Oriental.

2.2. Específicos

- Determinar el nivel de residencia de *Sphyrna lewini* en ciertos sitios alrededor la Isla del Coco.
- Describir los movimientos horizontales de los tiburones marcados con base en la información de los transmisores acústicos.
- Detectar si existen patrones diales (día/noche) en los movimientos horizontales de *S. lewini* en la Isla del Coco.
- Evaluar si existe una conexión entre la población de *S. lewini* de la Isla del Coco con otras áreas del Pacífico Tropical Oriental.
- Detectar si existen patrones estacionales y anuales en los avistamientos de *S. lewini* en la Isla del Coco.
- Relacionar la presencia de *S. lewini* con variables oceanográficas.

3. Hipótesis

- Se espera una preferencia de *S. lewini* por sitios específicos alrededor de la Isla del Coco, como arrecifes rocosos e islotes.
- Considerando que *S. lewini* presenta una periodicidad en los movimientos horizontales relacionados con el día y la noche, se esperaría encontrar una mayor presencia de los tiburones cerca de la isla, donde se encuentran los receptores, durante el día y un desplazamiento hacia aguas más profundas, lejos de los receptores, durante la noche.
- Basado en los movimientos ya reportados de las poblaciones de *S. lewini* en las otras islas del Pacífico Tropical Oriental, se espera encontrar una conectividad entre la población de *S. lewini* de la Isla del Coco con las del archipiélago de Galápagos y la Isla de Malpelo.
- Se espera encontrar una mayor presencia de tiburones marcados durante los primeros meses del año, los cuales se esperaría que disminuyan considerablemente hacia finales del año, demostrando la existencia de un patrón estacional.

4. Metodología

4.1. Área de estudio

La Isla del Coco en Costa Rica, forma parte del Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), declarada como Parque Nacional en 1978 y Patrimonio Natural de la Humanidad en 1997 (Garrison, 2005). Es una isla oceánica con un área de 23 km² en el Pacífico Tropical Oriental, ubicada aproximadamente a 550 km al suroeste de la costa del Pacífico de Costa Rica (5°30'-5°34' N y 87°01'-87°06' O), a 690 km de Darwin y 702 km de Wolf, Islas Galápagos, Ecuador y a 627 km de la Isla de Malpelo, Colombia (Fig. 4). Los límites del parque incluyen 1997 km² de ecosistema marino protegido (22.2 km de radio desde la isla), dentro de estos límites, la extracción de recursos marinos está prohibida (Decreto Ejecutivo N°29834-MINAE) (Friedlander *et al.*, 2012).

Se localiza en una zona de convergencia de vientos alisios que transportan humedad hacia la Isla del Coco, siendo un lugar con una fuerte actividad convectiva e intensas lluvias. La época de mayores precipitaciones en la isla es entre mayo y octubre, principalmente en horas de la tarde; el valor promedio anual para los pluviógrafos del Instituto Meteorológico Nacional fue de 5137.8 mm (Alfaro, 2008). La temperatura ambiental promedio es de aproximadamente 25.5°C y la de la superficie del mar de 27.8°C (Garrison, 2005). La época fría va de julio a diciembre, con temperaturas promedio de la superficie del mar de 27.39°C (de julio a septiembre) y de 26.79°C (de octubre a diciembre) (Lizano, 2008). Estas altas temperaturas del mar y una baja salinidad son características de las aguas superficiales tropicales (Acuña-González *et al.*, 2008). La Isla del Coco es el único punto que emerge de la Dorsal de Coco, que se extiende 1,200 km entre el punto caliente de Galápagos y la Península de Osa en el sur de Costa Rica (Alvarado-Induni, 2009; Rojas y Alvarado, 2012).

La batimetría varía de un lado a otro de la isla, en el nordeste hay una mayor pendiente y una plataforma más corta con un fondo mayormente arenoso, mientras que al sudeste de la isla la pendiente es más suave con una plataforma más ancha y de fondo rocoso (Fig. 2) (Lizano, 2001; Cortés y Blum, 2008; Sibaja-Cordero *et al.*, 2012).

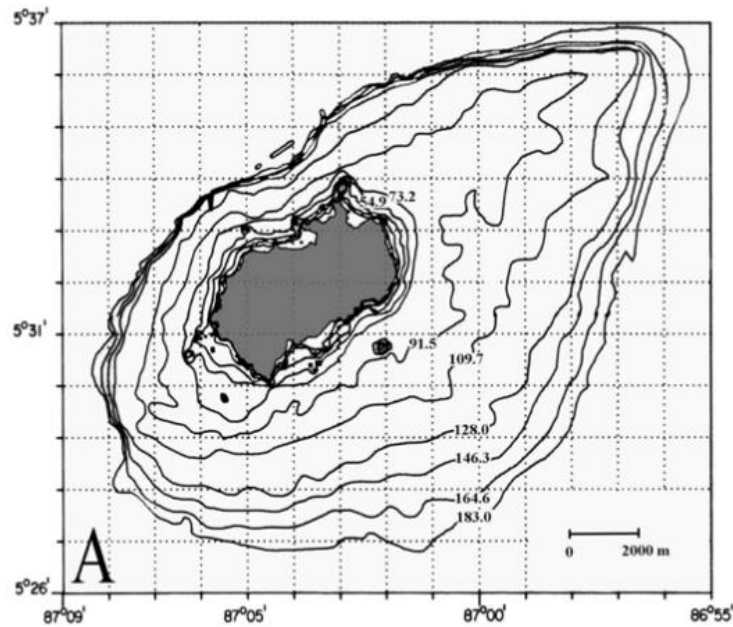


Figura 2. Batimetría alrededor de la Isla del Coco (Tomado de Lizano, 2001)

La Contracorriente Ecuatorial del Norte (CCEN) trae aguas cálidas del Pacífico Occidental hasta el PTO, afectando directamente a la Isla del Coco más que cualquier otra corriente; de febrero a abril cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está localizada más hacia el sur (2-6° N), la CCEN es más débil y rara vez llega a la isla, mientras que en agosto y septiembre cuando la ZCIT está en su posición más al norte (11-15° N), la corriente es más fuerte (Amador *et al.*, 2006; Acuña-González *et al.*, 2008; Lizano, 2008) (Fig. 3). Además, la isla se encuentra en una zona influenciada por los eventos de El Niño-Oscilación Sureña (Fiedler y Lynn, 2006).

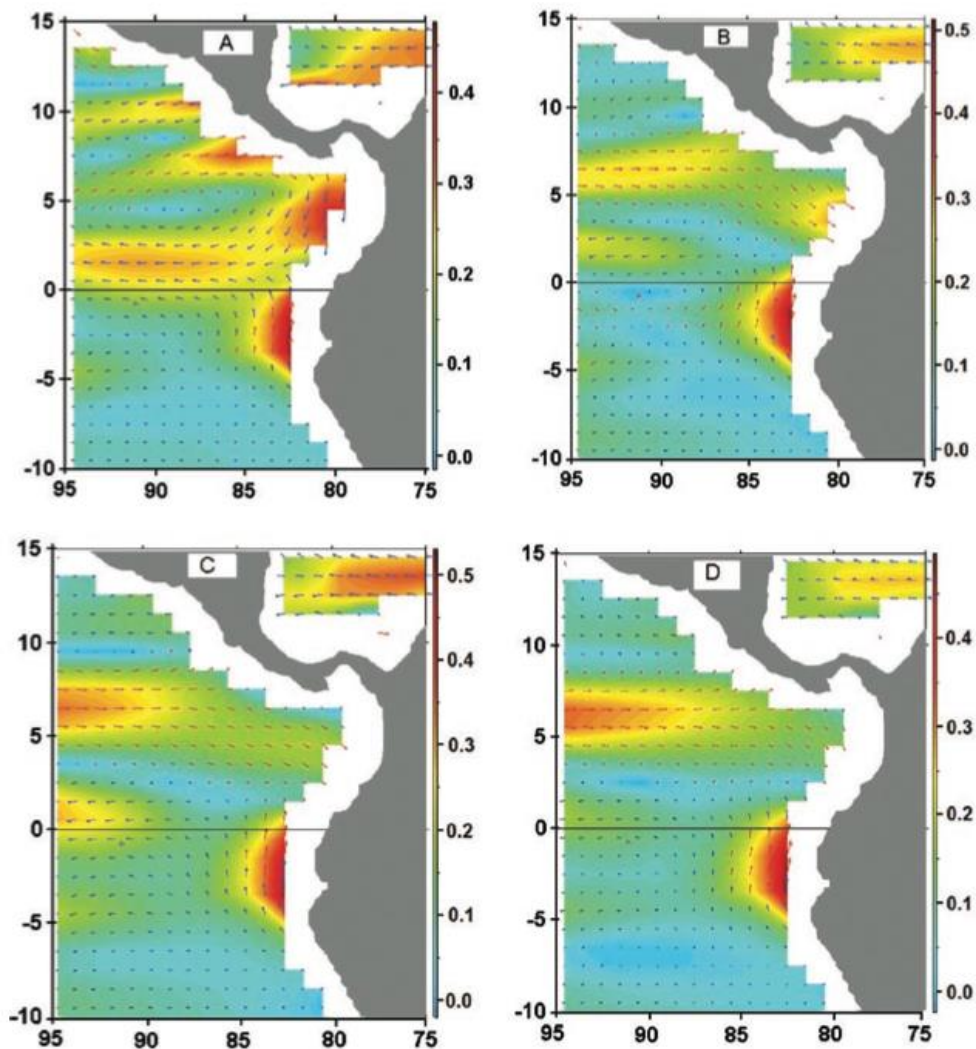


Figura 3. Promedios trimestrales de la velocidad (ms^{-1}) de las corrientes en la superficie del mar en la región del Pacífico Tropical Oriental. A) Enero-Marzo, B) Abril-Junio, C) Julio-Septiembre y D) Octubre-Diciembre (Tomado de Lizano, 2008).

4.2. Telemetría acústica

Para este estudio se utilizó la información ya existente, perteneciente a las campañas de marcaje entre julio 2005 y noviembre 2013 de un estudio colaborativo del Programa de Restauración de Tiburones y Tortugas Marinas (PRETOMA) y de Turtle Island Restoration Network (TIRN). Durante este período se realizaron once eventos principales de marcaje. La base de datos incluye a 84 tiburones con transmisores ultrasónicos codificados (Vemco Ltd., V16). Los individuos se marcaron en diferentes

sitios alrededor de la isla conocidos por ser lugares donde habitualmente se forman agregaciones de esta especie. Los transmisores se fijaron a los tiburones insertando un dardo de acero inoxidable en el tejido muscular, debajo de la primera aleta dorsal, mediante buceo libre o con equipo SCUBA, utilizando un arbaleta o arpón tipo “hawaiana” previamente modificado. Adicionalmente se contó con el apoyo de los grupos de investigación de Galápagos y Malpelo para la obtención de información sobre tiburones que migran entre las islas.

Se instalaron 6 receptores en diferentes lugares alrededor de la isla (Fig. 4) colocados a distintas profundidades (Tabla 1), en zonas conocidas por ser sitios específicos de agrupación de *S. lewini*, así como de otras especies pelágicas. Estos receptores (VR2W, Vemco Ltd.) registran información de presencia cada vez que un tiburón marcado pasa cerca del receptor. Cada aparato fue unido por lazos de cable plástico a una línea de amarre equipada con una boya de flotación y un bloque de cemento de anclaje. El alcance de detección de los receptores (500 m de radio) no cubre el área entera de los sitios, así que aquellos tiburones que nadan alejados del área de recepción no podrán ser detectados, lo cual no significa que ya no se encuentren en el sitio. Los transmisores anclados en los tiburones emiten una señal codificada a 69 kHz con un retardo aleatorio de 40-140 s, para evitar colisiones sucesivas entre señales de dos marcas.

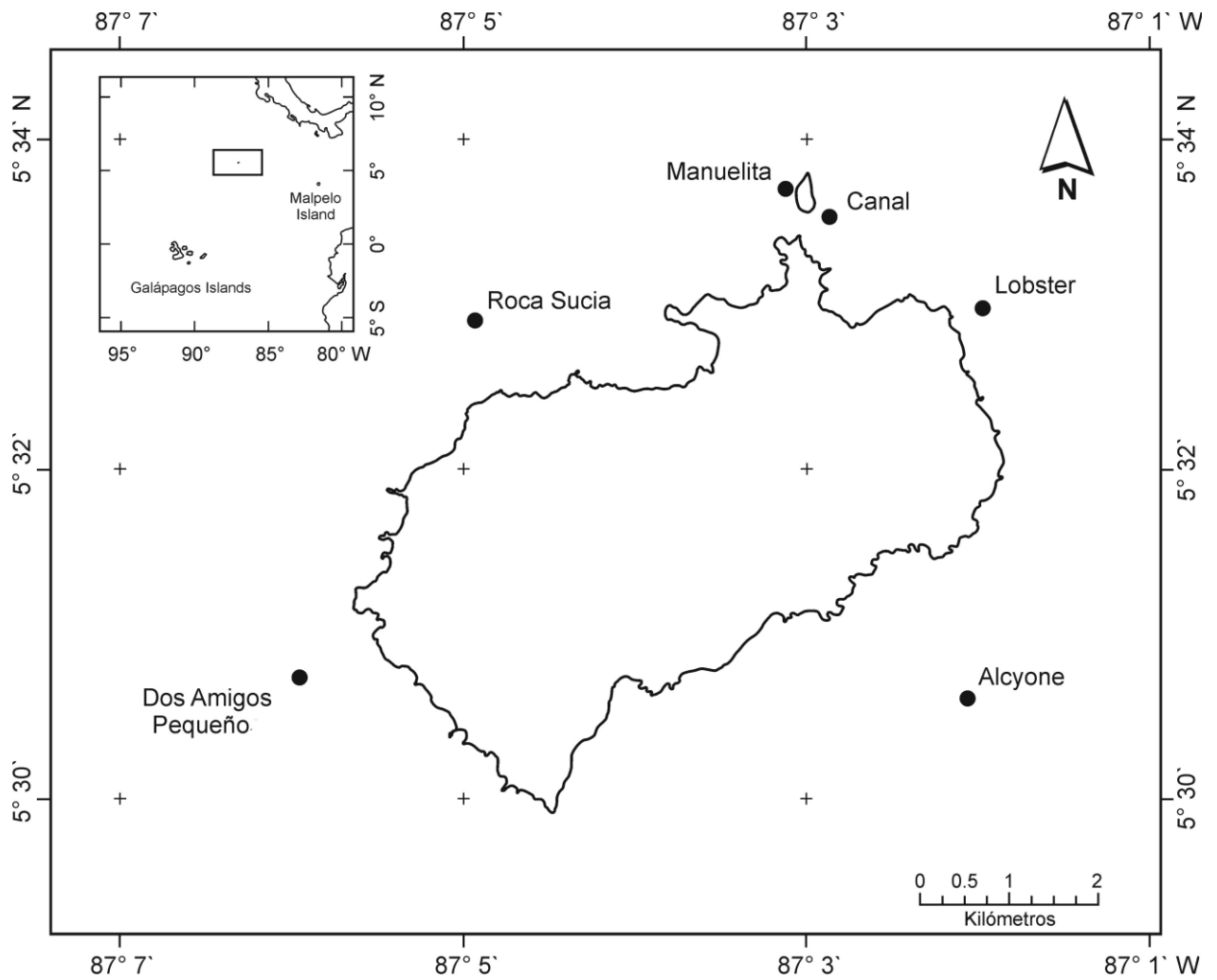


Figura 4. Ubicación geográfica de la Isla del Coco. Los puntos representan la ubicación de los receptores automatizados alrededor de la isla. El recuadro indica la ubicación de la isla en el Pacífico Tropical Oriental.

Tabla 1. Ubicación de los receptores instalados en la Isla del Coco, coordenadas, fechas de instalación y profundidad de cada receptor.

Sitio	Latitud	Longitud	Fechas de instalación	Profundidad (m)
Alcyone	5.5078	-87.0201	17/07/2005 a 14/06/2008 20/03/2009 a 23/03/2011 18/09/2011 a 01/11/2013	39
Roca Sucia	5.5537	-87.0835	17/07/2005 a 31/05/2007 20/03/2009 a 01/11/2013	36
Dos Amigos Pequeño	5.512	-87.1002	02/07/2006 a 03/06/2010 23/08/2010 a 01/11/2013	30
Manuelita	5.5617	-87.0489	03/07/2006 a 31/05/2007 20/03/2009 a 01/11/2013	32
Canal	5.5593	-87.0474	17/01/2011 a 01/11/2013	24
Lobster	5.5505	-87.0318	17/01/2011 a 01/11/2013	24

Los receptores se instalaron en diferentes fechas durante el periodo de estudio, entre julio 2005 y noviembre 2013, la información se descargó cada 6-9 meses y se realizó el cambio de batería necesario en cada viaje (Fig. 5 y Tabla 1). Algunos fueron objeto de pérdida, y aunque la mayoría fueron reemplazados rápidamente, existe cierta falta de información en los datos de varios sitios.

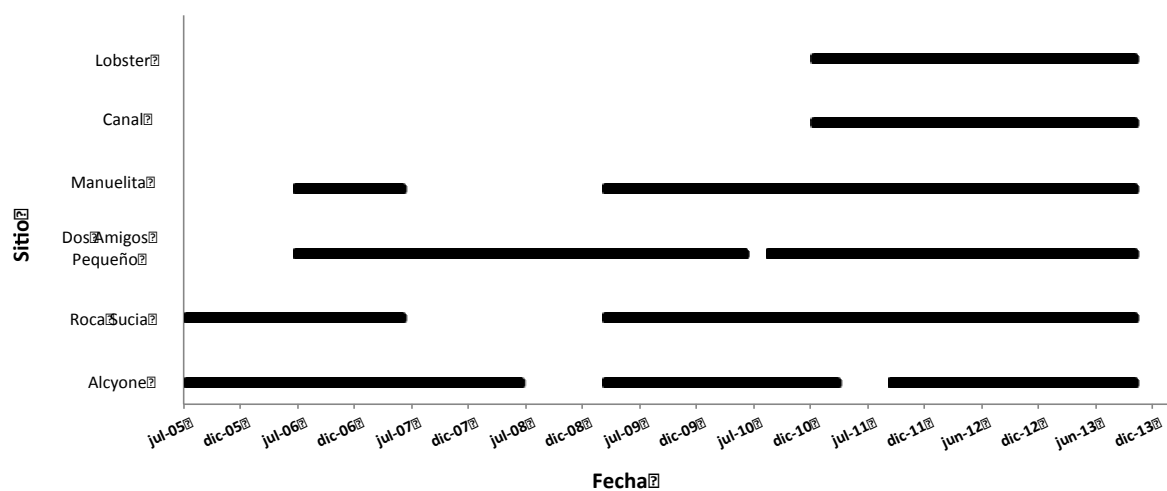


Figura 5. Tiempo de actividad para cada receptor durante el período de estudio.

4.2.1. Prueba de rango de detección

Los resultados de las pruebas en el rango de detección para los receptores ultrasónicos publicados en la página oficial www.vemco.com son de 500 m. En este estudio no se realizaron pruebas para determinar la máxima distancia de detección de los transmisores acústicos por parte de los receptores. Sin embargo, debido a que esta distancia puede variar según el día y las condiciones climáticas, nos basamos en los resultados de dos estudios donde se utilizó la misma metodología que la del presente trabajo, y en lugares con condiciones muy similares a las de la Isla del Coco (Hearn *et al.*, 2010). El primero en Islas Galápagos, donde los receptores alcanzaron sin dificultad la señal de los transmisores que se encontraban a 150 m de distancia, después de esta distancia el número de detecciones disminuía. La disminución en el alcance de las detecciones correspondía a aquellos puntos donde los receptores estaban más expuesto a factores ambientales, como el oleaje, pero también a sitios con mayor abundancia de tiburones y un mayor número de detecciones (Hearn *et al.*, 2010). En el segundo estudio, en la Isla de Malpelo, realizaron la prueba de rango en tres sitios diferentes alrededor de la isla, que difieren en condiciones medioambientales, las pruebas se realizaron a una distancia máxima de 400 m de los receptores. En los tres lugares donde se realizó la prueba, los receptores fueron capaces de recibir la señal de los transmisores que se encontraban entre 300-350 m de distancia, aunque el 50% de las detecciones ocurrió entre los 200-250 m (Bessudo *et al.*, 2011b).

4.3. Avistamientos de *S. lewini*

Se analizó la base de datos de la compañía Undersea Hunter que realiza viajes de buceo turístico a la Isla del Coco, con un total de 735 viajes de buceo (1991-2006) (Sibaja-Cordero 2008) y más de 400 viajes en el período 2007-2013. Se analizó la serie temporal de los datos de avistamientos de *S. lewini* desde febrero 1992 hasta diciembre 2013 que proporcionó la empresa, excepto por los años de 1996 y 1997 de los cuales no se tiene información en las bitácoras de buceo. Los registros contienen el número de buceos realizados para cada día y una aproximación del número de *S. lewini*

observados en cada buceo. Los buceos se realizaron en diferentes sitios alrededor de la isla.

4.4. Análisis de datos

4.4.1 Análisis de los datos de telemetría acústica

Los receptores acústicos registran hora, fecha y código de identificación para cada tiburón (ID), cada vez que este pasa a una distancia determinada del receptor. Para algunos tiburones se obtuvo una estimación de las tallas de longitud total (LT) y el sexo del animal, estos datos se obtuvieron de forma visual en el momento en que se realizó el marcaje.

En el texto se hace referencia a los términos de *tiburón activo* y *tiburón detectado*. Un tiburón se considera *activo* desde el día en que se le instala el transmisor acústico hasta el día de su última detección en cualquiera de los receptores, tanto en la Isla del Coco como en las otras islas del PTO. En cambio, el término de *tiburón detectado* se refiere solo a los días en que el tiburón envía una o más pulsaciones a cualquiera de los receptores. Además, para cada tiburón se calculó un índice de residencia (IR), que va de 0 a 1, donde IR=0 es cuando no existe ninguna detección (nivel de residencia bajo) e IR=1 es cuando el tiburón es detectado la totalidad de días desde su marcaje (nivel de residencia alto).

$$IR = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ días en la Isla del Coco}}{\text{n}^{\circ} \text{ días activo}} \quad (1)$$

La información de los receptores se utilizó para examinar la distribución espacio-temporal, es decir, la utilización y residencia a un área en particular, y para el análisis de los movimientos de *S. lewini* en la Isla del Coco y entre las otras islas del Pacífico Tropical Oriental. Los movimientos se analizaron de manera gráfica para identificar

patrones de movimiento. De acuerdo a la definición de Lowe *et al.* (2006): “La utilización de un área en particular se determina por la cantidad de tiempo que un pez pasa en la proximidad de un receptor determinado y por el número de detecciones en cada ubicación”. Para determinar esta utilización que hacen los tiburones de los diferentes sitios de la isla, se obtuvo el número de días presente por tiburón en cada uno de los sitios con receptores, para el período comprendido entre septiembre 2011 a noviembre 2013, período en el que todos los receptores estuvieron activos al mismo tiempo.

Para el análisis de residencia a los sitios, con base en estudios anteriores según la velocidad de natación de *S. lewini* (Ketchum *et al.*, 2014a), se determinó la duración de las visitas en cada receptor, donde todas las detecciones con intervalos de tiempo de 15 minutos o más, se consideraron como una nueva visita, ya que los tiburones pueden moverse fuera del rango de los receptores en un tiempo menor a 15 minutos.

Cuando los datos no presentaron distribución normal y homogeneidad de varianzas, se analizaron con una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis o bien con una prueba de Wilcoxon, según fuese el caso. Para la comparación de diferencias significativas se utilizó una prueba *a posteriori* de análisis múltiple de Kruskal. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R versión 3.0.1. (The R Foundation for Statistical Computing) con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

4.4.2 Análisis de los avistamientos

Con la información de la bitácoras de buceo se estableció un índice de avistamientos mensual estimado como el número total de tiburones martillo común avistados/número total de buceos.

El índice de avistamientos de *S. lewini* en la Isla del Coco se relacionó con dos variables temporales, mes y año, usando un modelo general lineal (MGL). Se utilizó el MGL asumiendo un tipo de distribución Poisson para comprobar si el índice de avistamientos varía según el mes y el año. Estos análisis se realizaron con el programa R versión 3.0.1 (The R Foundation for Statistical Computing). Además se realizó una correlación entre el índice de avistamientos y las anomalías de la temperatura

superficial del mar para la zona de El Niño 3, la más cercana a la Isla del Coco, esta información se obtuvo del Centro de Predicción del Clima de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>).

Los avistamientos de *S. lewini* se relacionó con las variables de temperatura superficial del mar, salinidad y corrientes geostróficas. Los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) se obtuvieron de AVHRR Pathfinder v4.1 (1992-2002) y de GAC (2002-2013) (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>), los promedios mensuales de la salinidad superficial del mar (SSM) de Aquarius V2 (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>) de enero 2011 a diciembre 2013 y el promedio mensual de las componentes “u” y “v” de la corriente geostrófica se obtuvo de Merged-Mission (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov>) de enero 1993 a diciembre 2012. Para el cálculo de rapidez (r) de la corriente se utilizó la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

5. Resultados

5.1. Movimientos generales

De los 84 *S. lewini* marcados en la Isla del Coco, se obtuvieron un total de 184,373 detecciones. El 56% de estas detecciones fueron en Alcyone. De los tiburones marcados en la Isla del Coco durante el estudio, el 62% fueron hembras, solo se pudo identificar un macho entre todos los tiburones marcados y el 37% restante no pudo ser identificado (Tabla 2). Se obtuvo la longitud total de 20 individuos (15 hembras, 1 macho y ND no determinado); la talla mínima fue de 140 cm de LT para dos hembras y la máxima de 300 cm de LT, también correspondiente a dos hembras. La talla promedio de los 20 *S. lewini* fue de 200.2 ± 60.7 desviación estándar (DE) cm.

Solo uno de los individuos visitó el archipiélago de Galápagos, de julio a octubre 2010, mientras que ningún tiburón marcado en la Isla del Coco visitó la Isla de Malpelo.

De los 84 tiburones analizados, 9 mostraron un alto nivel de residencia a la isla ($IR=1$), pero, por cortos períodos de tiempo (2-11 días), y 8 de los individuos presentaron un bajo nivel de residencia ($IR<0.1$). Para el total de tiburones el promedio de residencia es de 0.52 ± 0.31 DE, esto indica una residencia intermedia para el conjunto de individuos (Fig. 6).

Los *S. lewini* marcados en la Isla del Coco se mantuvieron *activos* un mínimo de 2 días y un máximo de 1022 días, con un promedio general de 131.5 ± 201.5 DE días; sin embargo, la media de días que se detectaron en la isla fue de 30 ± 40.6 DE. Varios tiburones se alejaron de la isla por largos periodos de tiempo, siendo estas ausencias más frecuentes durante los primeros meses del año. Cinco de los tiburones (#ID: 21, 22, 29, 48 y 70) se ausentaron entre 9 meses hasta más de un año. En el caso del tiburón #ID 12, se alejó por primera vez de la isla en agosto 2006 regresando nuevamente cada 6 meses por cortos periodos de tiempo, durante tres años consecutivos (2006, 2007 y 2008). El ejemplar que estuvo activo durante más tiempo

fue el #ID 28, con 1022 días, durante este tiempo visitó la isla en dos ocasiones, en julio 2009 y en marzo 2011. El tiburón #ID 78 mostró el período de residencia más largo en la Isla del Coco, transmitiendo señal por 197 días, entre julio 2012 y octubre 2013, alejándose de las cercanías de la isla por un mes, en marzo 2013 (Fig. 7).

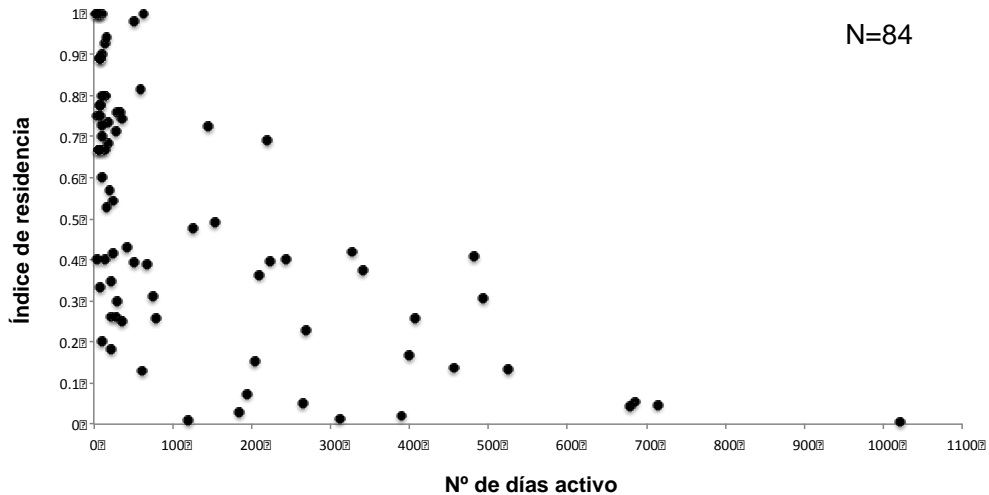


Figura 6. Índice de residencia para cada tiburón como función del número de días activo.

Desde el momento en que se marcan, todos los tiburones se detectan inmediatamente, la mayoría se sigue detectando por diversos días y semanas posteriores a la marcación (Fig. 6). De los 84 tiburones marcados, once transmitieron señal por más de un año.

El porcentaje de tiburones detectados varió según el número de tiburones activos. El porcentaje de detecciones se incrementó a partir del año 2009, con la implementación de un mayor número de receptores y de tiburones marcados (Fig. 8). Esto implica una mayor posibilidad de que un tiburón sea detectado en diferentes lugares alrededor de la isla. A partir de septiembre 2011 es cuando comienzan a funcionar todos los receptores simultáneamente (Fig. 5).

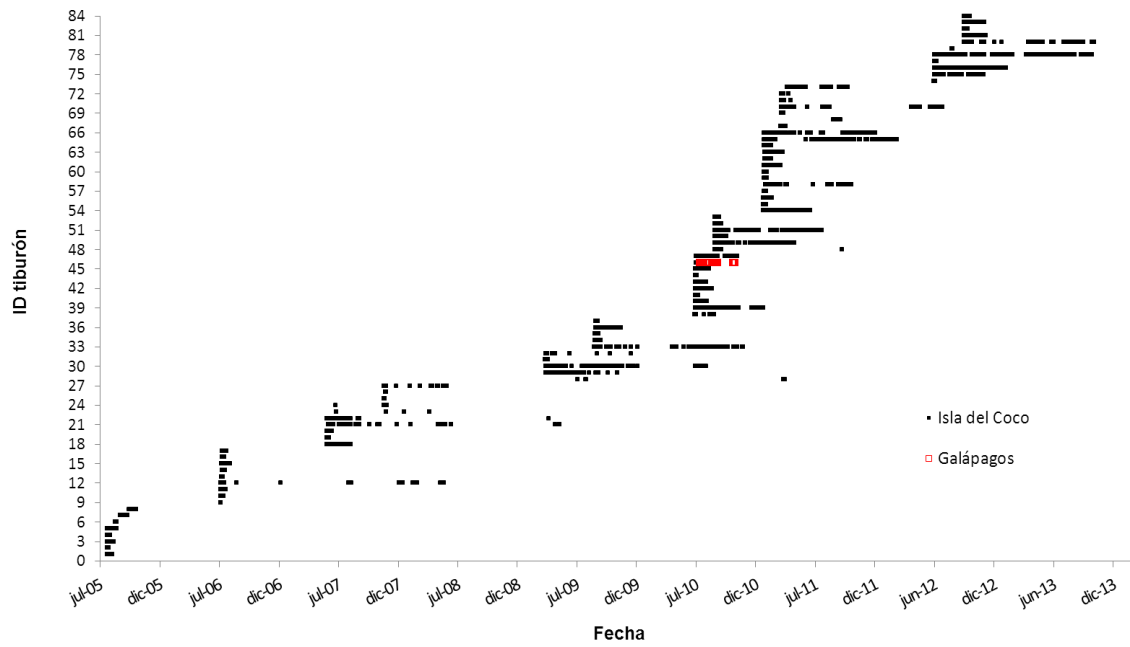


Figura 7. Cronograma de presencia para 84 *S. lewini* marcados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013, en rojo se representan las detecciones en Galápagos. ID= número de identificación del tiburón.

Tabla 2. *Sphyrna lewini* marcados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013 (H: hembra, M: macho, ND: no determinado). ID= número de identificación del tiburón.

ID	Sexo	Fecha de marcaje	Lugar de marcaje	Fecha última detección	Nº de días activo	Nº de días en la Isla del Coco	Índice de residencia
1	F	25/07/05	Alcyone	08/08/05	15	12	0.8
2	F	25/07/05	Alcyone	28/07/05	4	4	1
3	F	25/07/05	Alcyone	12/08/05	19	14	0.737
4	F	25/07/05	Alcyone	02/08/05	9	7	0.778
5	F	25/07/05	Alcyone	22/08/05	29	22	0.759
6	F	17/08/05	Roca Sucia	22/08/05	6	4	0.667
7	F	01/09/05	Manuelita	24/09/05	24	13	0.542
8	F	28/09/05	Manuelita	20/10/05	23	6	0.261
9	F	06/07/06	Dos Amigos Pequeño	07/07/06	2	2	1
10	F	06/07/06	Dos Amigos Pequeño	15/07/06	10	2	0.2
11	F	07/07/06	Alcyone	21/07/06	15	6	0.4
12	F	07/07/06	Alcyone	21/05/08	685	38	0.055
13	F	08/07/06	Roca Sucia	13/07/06	6	4	0.667
14	F	09/07/06	Dos Amigos Pequeño	19/07/06	11	8	0.727
15	F	09/07/06	Dos Amigos Pequeño	04/08/06	27	7	0.259
16	F	10/07/06	Alcyone	17/07/06	8	8	1
17	F	10/07/06	Roca Sucia	23/07/06	14	13	0.929
18	ND	28/05/07	Alcyone	09/08/07	74	23	0.311
19	ND	28/05/07	Alcyone	04/06/07	8	8	1
20	ND	28/05/07	Alcyone	11/06/07	15	12	0.8
21	ND	28/05/07	Manuelita	10/05/09	714	33	0.046
22	ND	28/05/07	Alcyone	05/04/09	679	30	0.044
23	ND	31/05/07	Manuelita	06/04/08	312	4	0.013
24	F	17/11/07	Alcyone	28/11/07	12	8	0.667
25	F	17/11/07	Manuelita	21/11/07	5	2	0.4
26	F	17/11/07	Manuelita	25/11/07	9	3	0.333
27	F	18/11/07	Manuelita	29/05/08	194	14	0.072
28	F	12/06/08	Roca Sucia	30/03/11	1022	7	0.007
29	ND	25/03/09	Roca Sucia	03/11/09	224	89	0.397
30	ND	26/03/09	Alcyone	01/08/10	494	151	0.306
31	ND	26/03/09	Roca Sucia	03/04/09	9	8	0.889
32	ND	27/03/09	Manuelita	15/12/09	264	13	0.049
33	ND	24/08/09	Roca Sucia	22/11/10	456	63	0.138
34	ND	25/08/09	Alcyone	12/09/09	19	13	0.684
35	ND	26/08/09	Alcyone	05/09/09	11	11	1
36	ND	27/08/09	Roca Sucia	12/11/09	78	20	0.256
37	ND	28/08/09	Alcyone	03/09/09	7	7	1
38	F	27/06/10	Alcyone	26/08/10	61	8	0.131
39	F	27/06/10	Alcyone	22/01/11	210	76	0.362
40	F	29/06/10	Roca Sucia	03/08/10	36	9	0.25
41	F	29/06/10	Alcyone	08/07/10	10	8	0.8
42	ND	29/06/10	Alcyone	18/08/10	51	20	0.392
43	F	30/06/10	Alcyone	01/08/10	33	25	0.758
44	F	30/06/10	Alcyone	03/07/10	4	3	0.75
45	F	30/06/10	Roca Sucia	10/08/10	42	18	0.429
46	F	02/07/10	Alcyone	29/10/10	120	1	0.008
47	F	02/07/10	Alcyone	04/11/10	126	60	0.476
48	ND	27/08/10	Roca Sucia	20/09/11	390	8	0.021
49	ND	28/08/10	Alcyone	27/04/11	243	97	0.399
50	ND	28/08/10	Alcyone	01/10/10	35	26	0.743
51	ND	28/08/10	Roca Sucia	21/07/11	328	137	0.418
52	ND	28/08/10	Roca Sucia	17/09/10	21	12	0.571
53	ND	28/08/10	Roca Sucia	11/09/10	15	10	0.667
54	F	23/01/11	Manuelita	16/06/11	145	105	0.724
55	F	23/01/11	Lobster	01/02/11	10	6	0.6
56	F	23/01/11	Manuelita	19/02/11	28	20	0.714
57	ND	25/01/11	Alcyone	01/02/11	8	6	0.75
58	F	25/01/11	Alcyone	19/10/11	268	61	0.228
59	F	25/01/11	Alcyone	02/02/11	9	8	0.889
60	ND	25/01/11	Alcyone	03/02/11	10	9	0.9

61	F	25/01/11	Alcyone	17/03/11	52	51	0.981
62	F	25/01/11	Alcyone	17/02/11	24	10	0.417
63	F	25/01/11	Alcyone	24/03/11	59	48	0.814
64	F	26/01/11	Alcyone	17/02/11	23	8	0.348
65	ND	26/01/11	Alcyone	07/03/12	407	104	0.256
66	ND	26/01/11	Alcyone	01/01/12	341	128	0.375
67	ND	17/03/11	Alcyone	02/04/11	17	9	0.529
68	ND	17/03/11	Alcyone	17/09/11	185	5	0.027
69	ND	18/03/11	Manuelita	26/03/11	9	7	0.778
70	ND	19/03/11	Roca Sucia	24/08/12	525	70	0.133
71	ND	19/03/11	Roca Sucia	17/04/11	30	9	0.3
72	F	20/03/11	Alcyone	10/04/11	22	4	0.182
73	F	20/03/11	Alcyone	09/10/11	204	31	0.152
74	F	27/06/12	Manuelita	02/07/12	6	4	0.667
75	M	28/06/12	Alcyone	27/11/12	153	75	0.49
76	F	30/06/12	Alcyone	04/02/13	220	152	0.691
77	F	30/06/12	Alcyone	08/07/12	9	8	0.889
78	F	01/07/12	Alcyone	25/10/13	482	197	0.409
79	F	22/08/12	Alcyone	25/08/12	4	4	1
80	F	29/09/12	Alcyone	01/11/13	399	66	0.165
81	F	29/09/12	Alcyone	04/12/12	67	26	0.388
82	F	30/09/12	Alcyone	09/10/12	10	7	0.7
83	F	30/09/12	Alcyone	01/12/12	63	63	1
84	F	30/09/12	Alcyone	16/10/12	17	16	0.941

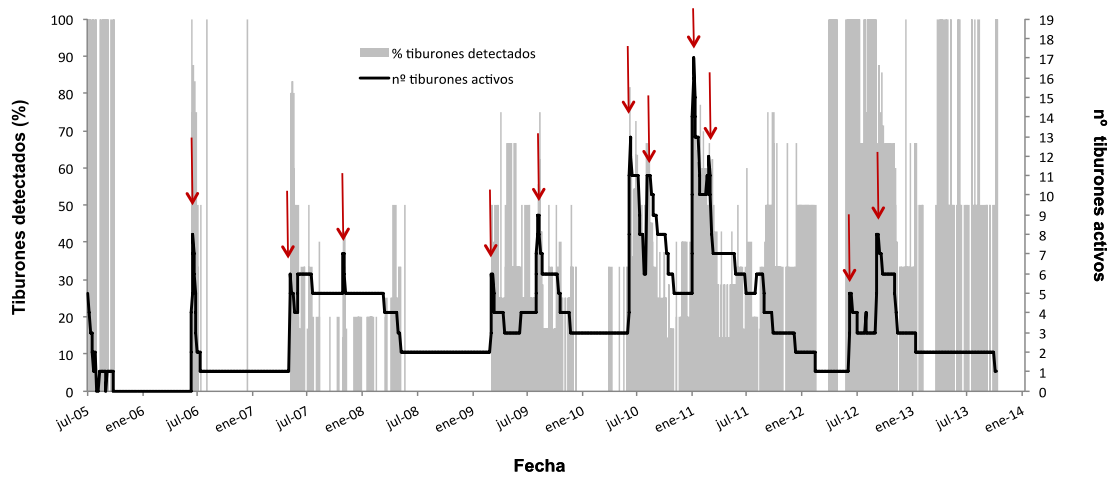


Figura 8. Número de tiburones activos y el porcentaje de tiburones detectados (n° tiburones presentes/ n° tiburones activos) para el período de estudio 2005-2013. Las flechas rojas indican eventos importantes de marcaje.

5.2. Distribución espacio-temporal

Para determinar la utilización de los sitios, se calculó para cada tiburón el número de días que fue detectado en cada uno de los receptores. Se encontraron diferencias significativas en el número de días en cada sitio (Kruskal – Wallis = 23.3926 $p < 0.05$). Al realizar las comparaciones múltiples no paramétricas se observó que sólo existen diferencias significativas entre el receptor de Alcyone con el de Dos Amigos Pequeño, Canal y Lobster (Tabla 3). En cada receptor los tiburones se detectaron una media de 1-25 días. Los tiburones pasaron más días en Alcyone (14 tiburones con una mediana de 11 días) comparado con Manuelita (14 tiburones con una mediana de 2 días) y Roca Sucia (10 tiburones con una mediana de 2 días) (Fig. 9). Estos tres lugares corresponden a sitios más alejados de la isla, con aguas más profundas y conocidos por ser estaciones de limpieza de *S. lewini*.

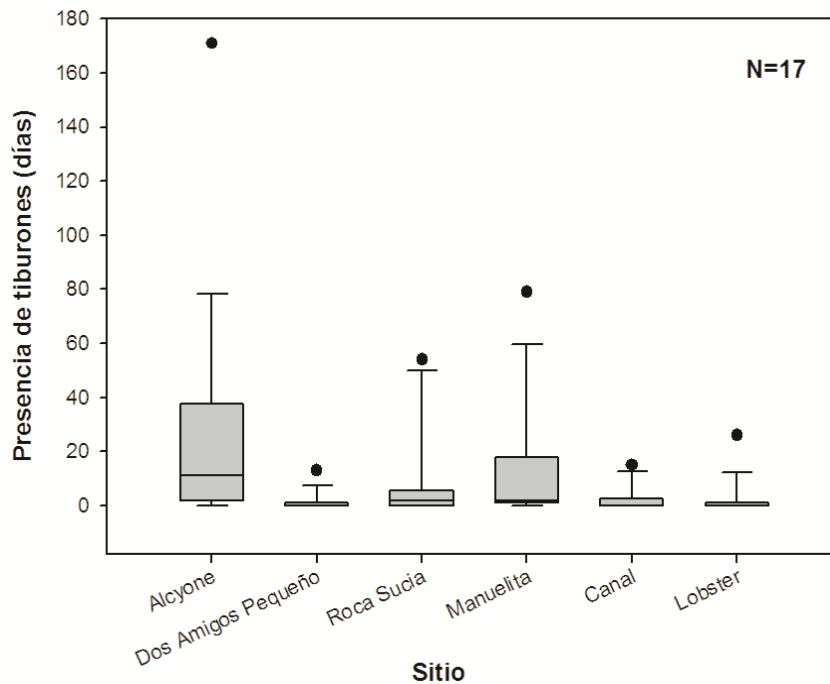


Figura 9. Número de días presente por sitio (mediana, cuartiles, error estándar y puntos extremos) de 17 (N) *S. lewini*, marcados en la Isla del Coco.

Tabla 3. Prueba *a posteriori* de comparaciones múltiples entre medianas (análisis múltiple de Kruskal) del número de días presente por tiburón en cada sitio.

Comparaciones	p<0.05
Alcyone vs. Canal	SI
Alcyone vs. Dos Amigos Pequeño	SI
Alcyone vs. Lobster	SI
Alcyone vs. Manuelita	NO
Alcyone vs. Roca Sucia	NO
Canal vs. Dos Amigos Pequeño	NO
Canal vs. Lobster	NO
Canal vs. Manuelita	NO
Canal vs. Roca Sucia	NO
Dos Amigos Pequeño vs. Lobster	NO
Dos Amigos Pequeño vs. Manuelita	NO
Dos Amigos Pequeño vs. Roca Sucia	NO
Lobster vs. Manuelita	NO
Lobster vs. Roca Sucia	NO
Manuelita vs. Roca Sucia	NO

Para determinar el nivel de residencia a los sitios, se obtuvo el tiempo y el número de visitas de los tiburones para cada sitio, para el período comprendido entre septiembre 2011 a noviembre 2013. Se encontraron diferencias significativas en la duración de las visitas entre los diferentes sitios (Kruskal – Wallis = 239.70 $p<0.05$).

Los receptores de Canal y Lobster recibieron un total de 26 y 68 visitas respectivamente. La mediana de la duración de las visitas fue de 2.3 min (con un promedio de 7.4 ± 11.8 DE min) para el receptor de Canal y de 3.9 min (con un promedio de 7.4 ± 8.5 DE min) para Lobster. En Dos Amigos Pequeño también se realizaron pocas visitas (63), pero a diferencia de los otros dos lugares estas visitas fueron de mayor duración, con una mediana de 15 min (con un promedio de 24.6 ± 24.8 DE min). En comparación con los otros sitios, Alcyone fue el receptor con las visitas más largas y frecuentes, con una mediana de 28 min (con un promedio de 71.1 ± 124.4

DE min). Esto demuestra un comparativamente mayor nivel de residencia a este lugar por parte de los tiburones (Fig. 10). Los receptores de Roca Sucia, Manuelita y Dos Amigos Pequeño mostraron un tiempo de residencia intermedio sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 4).

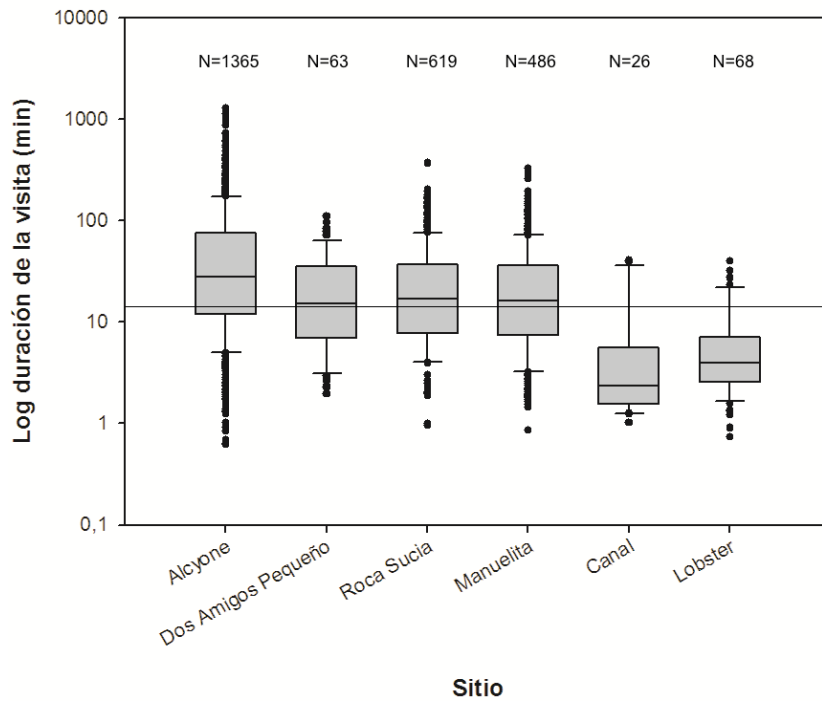


Figura 10. Tiempo de residencia (mediana, cuartiles, error estándar y puntos extremos) en minutos para 17 *S. lewini* en los diferentes sitios de recepción, la línea delimita el tiempo de residencia (>15 min) y tiempo de paso (<15 min). N=número total de visitas.

Tabla 4. Prueba *a posteriori* de comparaciones múltiples entre medianas (análisis de múltiple de Kruskal) del tiempo de residencia de los tiburones en cada sitio.

Comparaciones	p<0.05
Alcyone vs. Canal	SI
Alcyone vs. Dos Amigos Pequeño	SI
Alcyone vs. Lobster	SI
Alcyone vs. Manuelita	SI
Alcyone vs. Roca Sucia	SI
Canal vs. Dos Amigos Pequeño	SI
Canal vs. Lobster	NO
Canal vs. Manuelita	SI
Canal vs. Roca Sucia	SI
Dos Amigos Pequeño vs. Lobster	SI
Dos Amigos Pequeño vs. Manuelita	NO
Dos Amigos Pequeño vs. Roca Sucia	NO
Lobster vs. Manuelita	SI
Lobster vs. Roca Sucia	SI
Manuelita vs. Roca Sucia	NO

5.3. Descripción de los movimientos horizontales

Se analizaron los movimientos horizontales de 16 *S. lewini* entre los seis receptores instalados alrededor de la Isla del Coco, durante el período comprendido entre septiembre 2011 y noviembre 2013. En promedio, la movilidad entre los sitios no varía mucho (Tabla 5), excepto para los receptores de Lobster y Canal, donde un solo tiburón (#ID 83) realiza 11 viajes de Canal a Lobster y cuatro tiburones (#ID: 78, 80, 83 y 84) realizan la trayectoria que va de Lobster hacia Canal, 1, 3, 7 y 1 veces respectivamente. Ninguno de los tiburones muestra una conexión directa entre los sitios de Roca Sucia – Canal, Roca Sucia – Lobster, Dos Amigos Pequeño – Canal y Dos Amigos Pequeño – Lobster (Tabla 5).

De los 16 tiburones analizados, tres de los individuos marcados no realizaron ningún viaje hacia otros sitios de la isla, detectándose solo en las cercanías de Roca Sucia (#ID 70) y Alcyone (#ID: 77 y 82). El tiburón #ID 66 solo tiene movimientos entre los receptores de Alcyone y Manuelita, pero a diferencia del resto de tiburones este muestra un comportamiento opuesto en cuanto a los patrones día/noche, permaneciendo en la cercanía de los receptores principalmente en horas de la noche, alejándose de la isla al amanecer y volviendo a últimas horas de la tarde (*S. lewini* 66, apéndice).

El tiburón #ID 75, el cual fue el único macho identificado del estudio, se marcó en las cercanías de Alcyone y unos días después de su marcaje se movió hacia el norte de la isla, moviéndose entre los distintos receptores. Realizó viajes principalmente entre Manuelita y Roca Sucia. Se ausenta de la isla por periodos de 15 días durante los meses de agosto y octubre, y a finales de noviembre se marcha de la isla sin volver a ser detectado (*S. lewini* 75, apéndice). Un comportamiento similar se observa para el tiburón #ID 76 (*S. lewini* 76, apéndice).

El tiburón #ID 78 se detecta principalmente en las cercanías de Alcyone, aunque realiza visitas esporádicas a otros sitios de la isla; es el único individuo que efectúa vueltas completas a la isla en cortos períodos de tiempo. El primer giro a la isla lo realiza a principios de septiembre 2012, saliendo desde Alcyone para 4 días después volver nuevamente a su lugar de salida. La segunda vuelta a la isla la realiza a finales de agosto 2013, saliendo nuevamente de Alcyone y con una duración del viaje de 9 días. En octubre 2013 completa una vuelta más a la isla, sin embargo tarda para ello 19 días. Durante todo el mes de marzo 2013 se ausenta completamente de la isla (*S. lewini* 78, apéndice).

El tiburón #ID 80 también se ausenta de la isla durante los meses de febrero y marzo 2013, volviendo a ser detectado a mediados de abril (*S. lewini* 80, apéndice). El tiburón #ID 83, después de ser marcado el 30 de septiembre 2012, permanece los primeros 15 días de octubre 2012 en las cercanías del receptor de Alcyone, alejándose solo algunas horas durante ese tiempo, después de este periodo vuelve a tener un comportamiento diurno con visitas nocturnas al receptor de Lobster. Los principales movimientos de este

tiburón son entre los receptores de Alcyone y Lobster en los meses de octubre y principios de noviembre, y entre Manuelita y Lobster durante el mes de noviembre. Estos movimientos los realiza especialmente en horas nocturnas, lo que podría demostrar una preferencia en permanecer cerca de Lobster durante la noche o bien que se aleje de las cercanías de la isla por el lado noreste de esta (*S. lewini* 83, apéndice).

Tabla 5. Promedios y desviaciones estándar del número de viajes realizados por los tiburones entre los diferentes receptores. Entre paréntesis el número de tiburones que realizaron el viaje.

Desde: Hacia:	Roca Sucia	Manuelita	Canal	Lobster	Alcyone	Dos Amigos Pequeño
Roca Sucia		5.7 ± 6.63 (7)	0	0	1 (1)	1 ± 0 (2)
Manuelita	4.7 ± 6.47 (7)		5.5 ± 4.68 (6)	4 ± 5.93 (6)	1.6 ± 0.53 (7)	2 ± 1.41 (2)
Canal	0	6.2 ± 4.92 (5)		3 ± 2.83 (4)	2 ± 0 (2)	0
Lobster	0	5 ± 4.58 (3)	11 (1)		2.7 ± 2.76 (8)	0
Alcyone	1.3 ± 0.58 (3)	2.7 ± 0.95 (4)	1 (1)	3.7 ± 2.52 (3)		2.3 ± 1.5 (4)
Dos Amigos Pequeño	1 ± 0 (4)	1.5 ± 0.58 (4)	0	0	2 ± 1.41 (2)	

5.4. Patrones diales

Comparando el número total de detecciones por hora a lo largo de un ciclo de 24 horas, en todos los receptores y durante el período comprendido entre julio 2005 y noviembre 2013, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el número de detecciones entre el día y la noche. Se observó una preferencia por los tiburones a permanecer cerca de los receptores durante las horas del día (6:00-18:00) en comparación con la noche (18:00-6:00). Los tiburones se acercan a la isla al amanecer, con un pico en el número de detecciones alrededor del mediodía y al anochecer se mueven hacia aguas circundantes lejos del rango de detección de los receptores (Fig. 11).

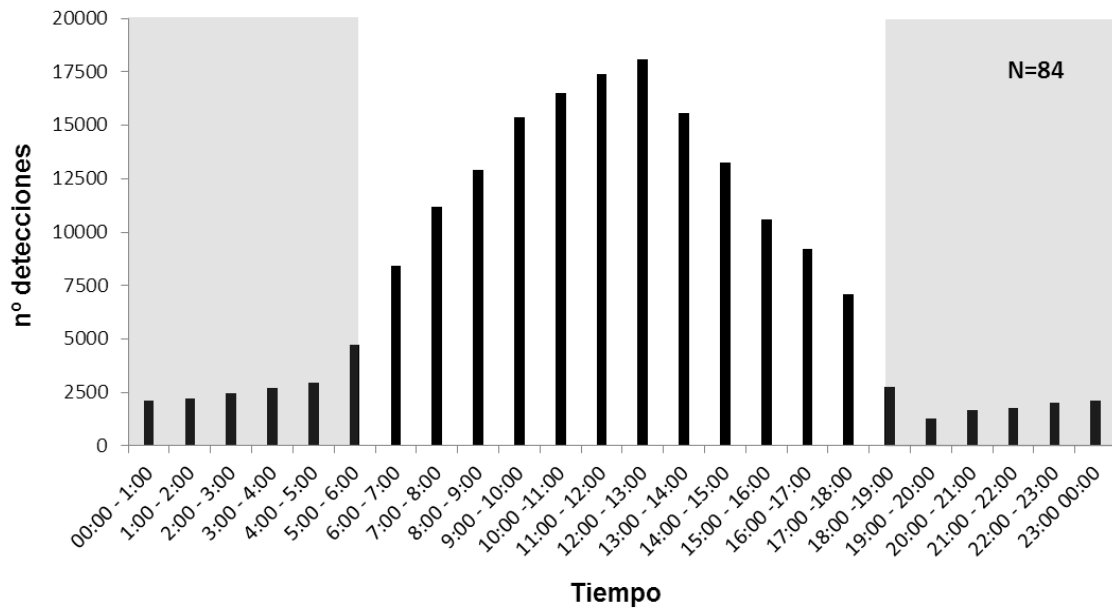


Figura 11. Número de detecciones por intervalo de hora, durante el período 2005-2013, para 84 (N) tiburones. Las áreas sombreadas desde las 00:00 a 06:00 y desde las 18:00 a 00:00 representan el período nocturno.

Se analizaron los registros que comprenden el período en que todos los receptores estuvieron activos, desde septiembre 2011 a noviembre 2013, para determinar diferencias en el uso de los sitios entre el día y la noche. Durante este período se detectaron un total de 17 tiburones. Lobster fue el único sitio donde no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el porcentaje de detecciones entre el día y la noche, mientras que en los otros sitios las diferencias entre el día y la noche fueron significativas ($p < 0.05$) observándose un mayor porcentaje de detecciones durante el día (Fig. 12).

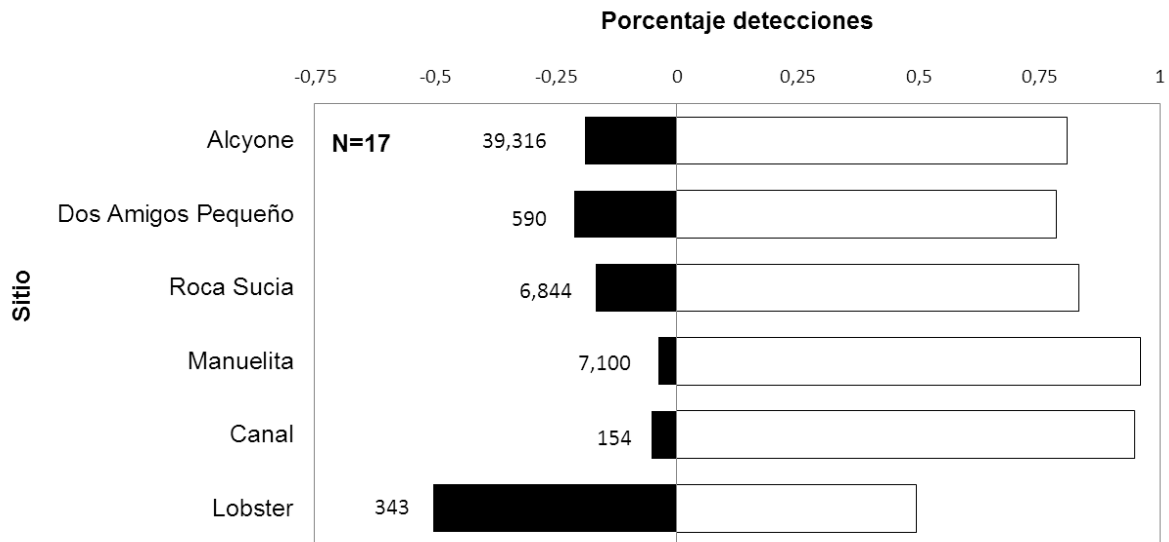


Figura 12. Detecciones para cada sitio, representado como un porcentaje día/noche para el período de septiembre 2011 a noviembre 2013. Las barras blancas figuran el porcentaje de detecciones del día y las negras de la noche. Los números representan la cantidad de detecciones para cada sitio. N=número de tiburones.

5.5. Movimientos interinsulares

De los 84 *S. lewini* marcados en la Isla del Coco, solo un individuo (#ID 46) fue registrado en Galápagos, a 710 km de la Isla del Coco. El tiburón se mueve hacia Galápagos en un tiempo de 10 días, el mismo día en que se le instala el transmisor, y permanece en los alrededores de este archipiélago de julio a octubre 2010 (Fig. 7). Cinco tiburones marcados en Islas Galápagos visitaron la Isla del Coco, dos de los cuales realizaron un movimiento de ida y vuelta entre estas dos islas, y cuatro individuos marcados en Isla Malpelo se detectaron en la Isla del Coco, aunque solo uno realizó un movimiento de ida y vuelta entre las dos islas. El tiburón #ID 5M, es el único tiburón que visitó las tres islas. El 78% de los tiburones marcados en Galápagos y Malpelo que posteriormente visitaron la Isla del Coco, fue entre marzo y abril, con pocos días de detecciones en la isla (Fig. 13 y Tabla 6).

De los nueve *S. lewini* marcados en otras islas y que son detectados en la Isla del Coco, el índice de residencia promedio es de 0.015 ± 0.014 DE (Tabla 6).

Tabla 6. *Sphyrna lewini* marcados en Galápagos y Malpelo, que son detectados en la Isla del Coco durante el período de estudio 2005-2013 (H: hembra, M: macho, ND: no determinado).

ID	Sexo	Fecha de marcaje	Lugar de marcaje	Detecciones en la Isla del Coco	Fecha última detección	Nº de días activo	Nº de días en la Isla del Coco	Índice de residencia
1M	ND	01/03/06	Malpelo	RS	20/04/06	51	1	0.020
2G	F	21/07/06	Galápagos	DAP/Manuelita	25/08/07	401	2	0.005
3G	F	23/07/07	Galápagos	DAP	05/10/07	75	3	0.040
4G	F	31/10/07	Galápagos	Roca/Isucia	25/01/13	1914	67	0.035
5M	F	03/03/08	Malpelo	Alcyone	24/02/09	359	5	0.014
6M	ND	09/03/08	Malpelo	DAP/RS	06/06/10	820	3	0.004
7M	ND	10/03/08	Malpelo	DAP/RS	01/04/09	388	3	0.008
8G	F	15/03/09	Galápagos	Manuelita	28/01/10	320	1	0.003
9G	F	06/08/09	Galápagos	RS	01/04/10	239	2	0.008

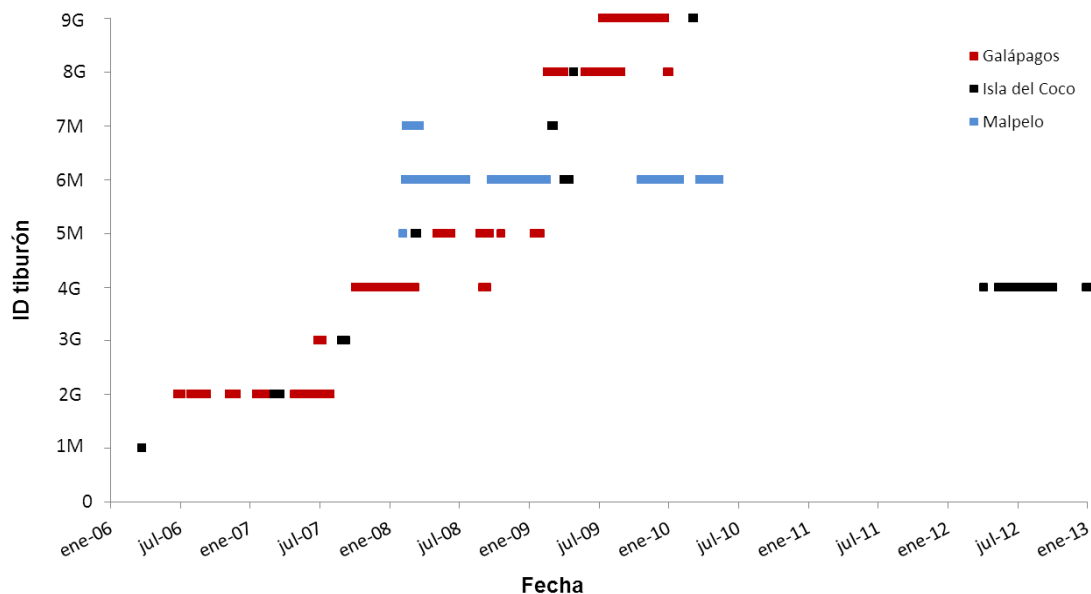


Figura 13. Cronograma de los *S. lewini* marcados en Galápagos y Malpelo, y sus detecciones en las otras islas del Pacífico Tropical Oriental.

El menor tiempo de viaje de los tiburones que se movieron entre la Isla del Coco y Galápagos fue de 10 días (#ID 46), lo que implica una velocidad promedio de 0.82 ms^{-1} sobre una distancia en línea recta de 710 km. Para los movimientos entre la Isla del Coco y Malpelo el menor tiempo de viaje fue de 30 días (#ID 5M), con una velocidad promedio de 0.24 ms^{-1} sobre una distancia en línea recta de 627 km. Sin embargo, la mayor parte de los tiburones tardó más de un mes en realizar estas travesías entre islas, lo que sugeriría que estos movimientos no fueron directos (Tabla 7). Esto coincide con lo realizado por el tiburón #ID 4G, que tardó 1298 días desde su última señal en

Galápagos en octubre 2008, hasta su siguiente detección en la Isla del Coco en abril 2012, permaneciendo en los alrededores de ésta aproximadamente 9 meses, lo cual podría indicar movimientos hacia lugares más lejanos (Fig. 13).

Tabla 7. Movimientos entre las islas de Galápagos, Malpelo e Isla del Coco.

	I. del Coco → Galápagos	Galápagos → I. del Coco	I. del Coco → Malpelo	Malpelo → I. del Coco
Número de viajes	4	5	1	4
Tiempo promedio de viaje (días)	32.25	292.8	189	63
Desviación estándar (días)	15	503.04	0	35.95
Tiempo máximo de viaje (días)	52	1298	189	113
Tiempo mínimo de viaje (días)	10	15	189	30
Distancia (km)	710	710	627	627
Máx. velocidad en línea recta (m/s)	0.82	0.55	0.04	0.24

5.6. Tendencias estacionales y anuales

Según los registros de los avistamientos de *S. lewini* por parte de los guías de buceo operando en la Isla del Coco, se calculó el promedio mensual de tiburones avistados/buceo desde 1992 hasta el 2013. Para probar si este índice de avistamientos varía según el mes y el año se utilizó un modelo general lineal (MGL), donde β_1 y β_2 son parámetros del modelo con un valor del intercepto de $\beta_0 = 3.02$.

$$\text{Índice de avistamientos} = \beta_0 + \beta_1 * \text{año} + \beta_2 * \text{mes} \quad (3)$$

Tanto el mes como el año tienen un efecto significativo en el índice de avistamientos de los tiburones (Tabla 8). Por tanto, existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en el número de avistamientos para cada mes, donde en promedio se observó un mayor número de tiburones/buceo durante septiembre (57.3 ± 44.3 DE), mientras que los valores más bajos se registraron en enero (22.8 ± 22.8 DE). El índice de avistamientos

también varía según el año. Los años de 1999 y 2008 tienen el mayor número de avistamientos/buceo de todo el período de estudio, con un máximo de 205 avistamientos/buceo para septiembre 1999 y 130 avistamientos/buceo para junio 2008. El índice de avistamientos de *S. lewini* aumenta a inicios de la estación fría (julio) y disminuye a finales de esta (diciembre), presentando lo que parece ser una estacionalidad bastante definida (Fig. 14).

Se realizó una regresión lineal para comprobar la tendencia de los avistamientos de *S. lewini* en los últimos años (1992-2013). Los resultados indican que la regresión lineal no es un buen modelo desde el punto de vista estadístico para representar las disminuciones de los avistamientos en el tiempo ($p < 0.05$), ya que solo explica un 10% de la variabilidad ($R^2 = 0.10$). Sin embargo, sí se observa una disminución de los avistamientos en el tiempo. Al comparar el mes con el mayor promedio del índice de avistamientos para 1993 y 2013, se determinó una disminución aproximada del 40%.

$$y = -0.1617x + 58.123 \quad (4)$$

Tabla 8. Comparación del modelo general lineal.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Fisher	p
Mes	11	35214	3201	7.141	$p < 0.05$
Año	19	137348	7229	16.124	$p < 0.05$

Al realizar una prueba de correlación entre el índice de avistamientos y las anomalías de la temperatura superficial del mar para la zona de El Niño 3 (la más cercana a la Isla del Coco). Se encontró que el promedio de *S. lewini* avistados por buceo para cada mes, muestra una correlación negativa y leve de -0.255, pero significativa con las anomalías de la temperatura ($p < 0.05$). Los valores del promedio de avistamientos/buceo disminuyen en años con episodios cálidos, es decir anomalías mayores a 1°C en la temperatura superficial (1992, 1998, 2002 y 2009) y aumentan con la llegada de episodios fríos, con anomalías menores a -1°C (1999, 2000, 2007 y 2008) (Fig. 15).

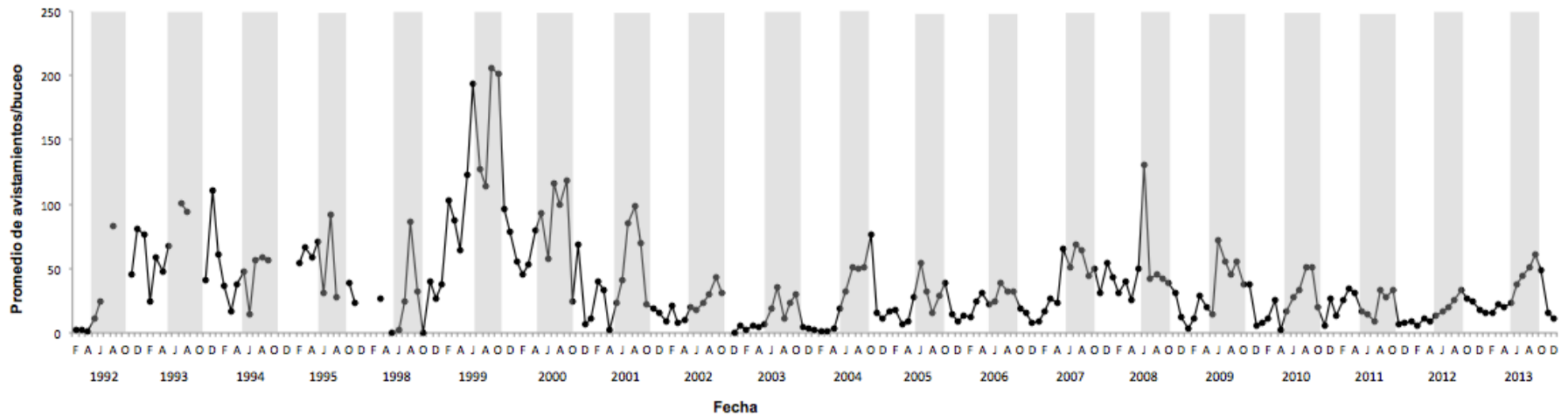


Figura 14. Promedio mensual de tiburones avistados/buceo, durante los viajes de buceo realizados entre 1992 y 2013 en diferentes sitios alrededor de la Isla del Coco. Las áreas sombreadas representan la estación fría.

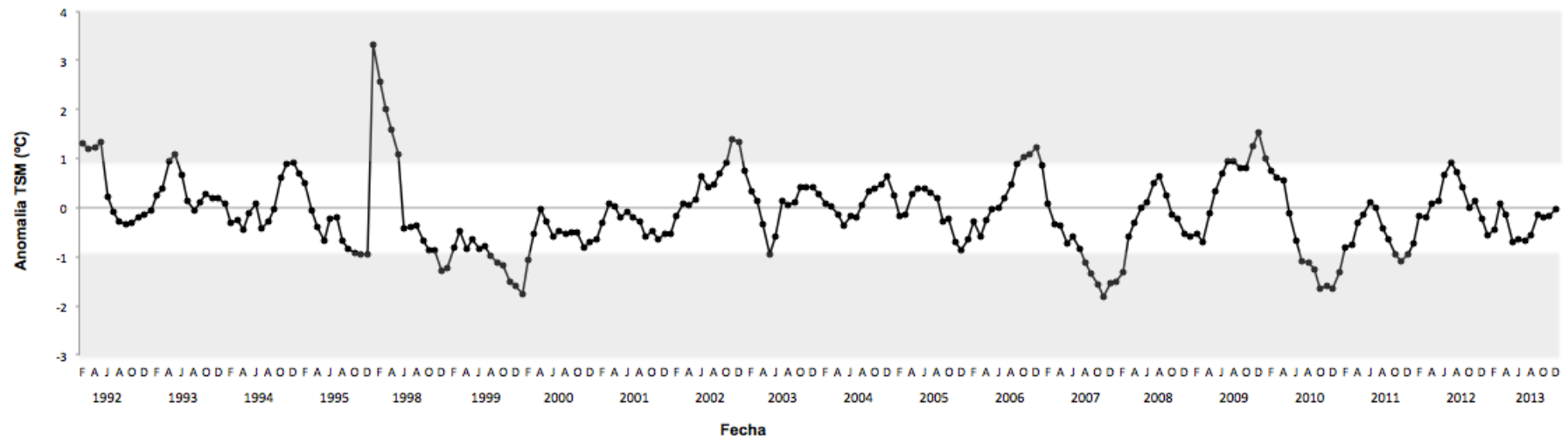


Figura 15. Anomalías de la temperatura superficial del mar para la región de El Niño 3, entre 1992-2013. Las zonas sombreadas indican los episodios cálidos ($> 1^{\circ}\text{C}$) y fríos ($< -1^{\circ}\text{C}$).

5.7. Relación entre factores oceanográficos y los avistamientos de *S. lewini*

Se obtuvieron los valores promediados de la temperatura superficial del mar (TSM) (N=201) correspondientes a cada mes y para un punto geográfico cercano a la Isla del Coco (5°34' N y 87°05' O). Cabe mencionar que no se obtuvo la información de toda la serie de tiempo (N=239) debido a que: 1) la imagen satelital no obtuvo la información de la TSM para la fecha y punto geográfico determinado y 2) no existía información de los avistamientos para esa fecha. Se obtuvo una TSM promedio de $27.7 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ DE, con temperaturas mínima y máxima de 25.1 y 30.8°C respectivamente. El valor mínimo de la TSM fue para diciembre de 1999 con un índice de avistamiento de 78.1. La TSM máxima se dio en marzo de 1998 con un índice de avistamiento de 26.8.

De acuerdo con el análisis de regresión lineal simple, se encontró una relación significativa ($R^2=0.094$ $p<0.05$) entre la TSM y el índice de avistamientos. Se observa una tendencia negativa en los datos, donde a mayor temperatura, el índice de avistamientos tiende a disminuir (Fig. 16).

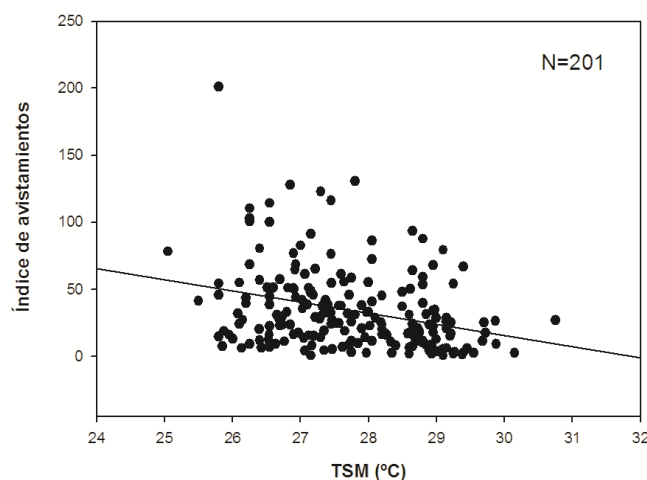


Figura 16. Relación lineal entre la TSM ($^{\circ}\text{C}$) y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).

Se obtuvieron los valores promediados de la salinidad (N=29) correspondientes a cada mes y para un punto cercano a la Isla del Coco (5°34' N y 87°05' O). Cabe mencionar que solo se obtuvieron los datos para la serie de tiempo de agosto 2011 a diciembre 2013, período en el cual el satélite estuvo funcionando. El promedio global estimado de salinidad fue de 32.7 ± 0.7 DE, con valores mínimos y máximo de 30.5 y 33.7 respectivamente. El valor mínimo de la salinidad se dio en febrero 2012 con un índice de avistamiento de 5.9. La salinidad máxima fue para julio 2013 con un índice de avistamientos de 44.

De acuerdo con el análisis de regresión lineal simple, se obtuvo una relación significativa ($R^2=0.211$ $p<0.05$) entre la salinidad del mar y el índice de avistamientos. Existe una tendencia positiva, donde a valores más altos de salinidad, el índice de avistamientos es mayor (Fig. 17).

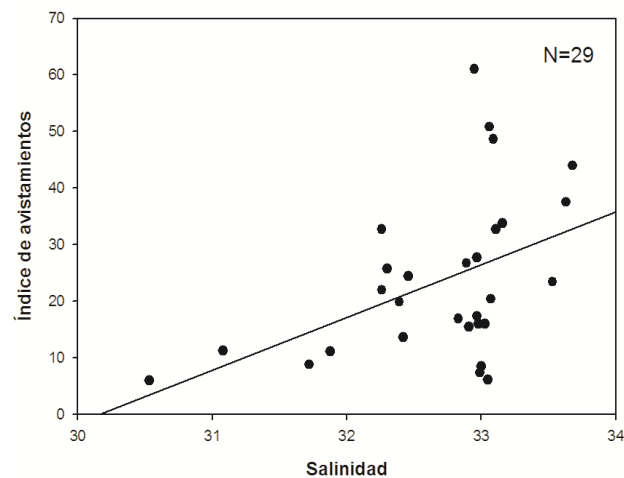


Figura 17. Relación lineal entre la salinidad y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).

Por último se obtuvieron los valores promediados de las componentes “u” y “v” de la corriente geostrófica (N=203) correspondientes a cada mes y para un punto geográfico cercano a la Isla del Coco (5°34' N y 87°05' O). Se obtuvieron los datos para la serie de tiempo de enero 1993 a diciembre 2012, período en el cual el satélite estuvo trabajando. No se obtuvieron los datos para toda la serie de tiempo debido a que no existía información de los avistamientos para ciertos meses. Se obtuvo una velocidad promedio de 0.22 ± 0.13 DE ms^{-1} , la velocidad de la corriente geostrófica mínima y máxima fue de 0.022 y 0.669 ms^{-1} respectivamente. El valor mínimo de la velocidad fue para agosto 2009

con un índice de avistamiento de 45.6. La velocidad máxima se dio en mayo 2010 con un índice de avistamiento de 16.7. De acuerdo con el análisis de regresión lineal simple, no se obtuvo una relación significativa ($R^2=0.009$ $p>0.05$) entre la magnitud de la corriente geostrófica del mar y el índice de avistamientos (Fig. 18).

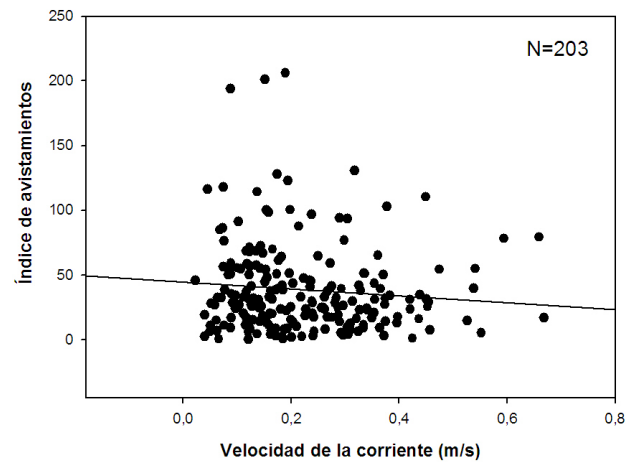


Figura 18. Relación lineal entre la velocidad de la corriente y el índice de avistamientos (promedio mensual de tiburones avistados/buceo).

6. Discusión

6.1. Movimientos en la Isla del Coco

El uso de telemetría acústica en el Parque Nacional Isla del Coco ha permitido el monitoreo constante en los diferentes sitios alrededor de la isla de la actividad de los *Sphyrna lewini* marcados durante el periodo del 2005 al 2013. Con el análisis de esta amplia base de datos fue posible identificar el uso de sitios específicos, residencia a los sitios, patrones de movimientos día/noche, tendencias estacionales y anuales, y número de avistamientos según ciertos factores oceanográficos.

Más de la mitad de los individuos marcados en este estudio fueron hembras y solo uno pudo ser identificado como macho. Hearn *et al.* (2010) en su estudio de marcaje acústico de *S. lewini* en las Islas Galápagos, también observaron una mayoría de hembras (6 machos de un total de 71 tiburones). Las hembras son las que suelen formar estas grandes agrupaciones cerca de montañas submarinas e islotes, aunque también es posible encontrar algunos machos dentro de estos grupos (Klimley, 1987). El motivo de estas agrupaciones en esta especie no está muy claro, se cree que puede ser con fines reproductivos (Klimley, 1981), migraciones (Olsen, 1954) o como sistema de refugio (Hamilton y Watt, 1970). De acuerdo a Daly-Engel *et al.* (2012), las hembras de *S. lewini* muestran una fidelidad a sitios específicos de la línea de costa, archipiélagos o áreas de crianza; mientras que los machos se dispersan en aguas oceánicas, realizando migraciones con fines reproductivos.

No se obtuvieron las longitudes totales de todos los individuos marcados, pero es importante destacar la variabilidad de tallas que se observaron en estas grandes agrupaciones. El 60% de 15 hembras muestreadas tuvieron tallas menores a 223 cm. Según los resultados del trabajo de Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza (2001) en el Pacífico mexicano, las tallas de primera madurez sexual en las hembras son de 223 cm. Por tanto, de estas 15 hembras medidas, más de la mitad eran inmaduras.

El tiempo de transmisión de algunas marcas fue muy bajo para ciertos individuos, del total de tiburones marcados, el 11% se mantuvo activo entre 2 días y una semana, el 43% entre una semana y un mes, el 33% entre un mes y un año y el 13% restante estuvo funcionando por un año ó más. Esto puede deberse a varios motivos: 1) la marca pudo haberse desprendido del tiburón, 2) el tiburón pudo estar moviéndose en lugares de la isla alejados del rango de detección de los receptores, 3) el tiburón podría haberse marchado de la isla sin volver a ser detectado, en el momento en el cual el tiburón salga del área protegida de la isla existe una posibilidad de que sea capturado por algún artefacto de pesca o 4) la marca dejó de funcionar. Sin embargo, se observó que con los años el tiempo de funcionamiento de las marcas en lo tiburones ha ido aumentando, posiblemente debido a una mejora en las técnicas del marcaje o debido a la instalación de un mayor número de receptores durante el 2009, lo que aumentó las posibilidades de que un tiburón fuera detectado en diferentes lugares de la isla.

El índice de residencia para el total de tiburones marcados en la Isla del Coco es relativamente bajo 0.52 ± 0.31 DE, esto podría indicar que los tiburones no vuelven todos los días a los sitios de detección, sino que se mueven a otros lugares de la isla o lejos de esta. Los largos períodos de ausencia de la isla de ciertos tiburones y sus posteriores regresos podría indicarnos que los tiburones son residentes temporales de la isla. Muchos peces tienden a residir en ciertos lugares e islas durante días, semanas o meses mostrando así una residencia temporal a los sitios, esta preferencia a estar en estos lugares durante solo ciertas épocas podría coincidir con sitios de alimentación (Torres-Rojas *et al.*, 2013), estaciones de limpieza (Dewar *et al.*, 2008), refugio (Hamilton y Watt, 1970; Klimley y Nelson, 1984), períodos reproductivos o de alumbramiento (Clarke, 1971; Clarke *et al.*, 2011). Por ejemplo, en el archipiélago de Galápagos, *S. lewini* tiende a residir más tiempo en una isla en particular (isla de Wolf) comparado con el tiempo de residencia en las otras islas (Ketchum *et al.*, 2014b). Los autores sugieren que esto se debe al hecho de que la mayoría de los tiburones se marcaron en las cercanías de esa isla, otra suposición es que los tiburones utilicen Wolf como un centro de dispersión para emprender movimientos hacia otros hábitats ó islas.

Debido a la cantidad de detecciones de distintos tiburones durante ciertas horas del día, se puede inferir que *S. lewini* en la Isla del Coco parece mostrar un comportamiento grupal

en el momento de formar grandes cardúmenes en sitios determinados de la isla. Sin embargo, con el análisis de los movimientos horizontales de 16 tiburones alrededor de la isla se observó un comportamiento individual, donde cada tiburón realizaba rutas distintas entre los receptores (Hemelrijk, 2002).

Esta diferencia en el uso de los diferentes sitios por parte de los tiburones puede deberse a variaciones en el comportamiento individual de cada animal, posiblemente asociado a la especialización en la dieta de cada individuo (Bolnick *et al.*, 2003), o asociado a interacciones de dominancia entre individuos dentro de los cardúmenes (Hemelrijk, 2000). Sin embargo, ciertos tiburones no realizan ningún movimiento entre diferentes puntos de la isla, permaneciendo siempre en un mismo sitio, como en los bajos de Alcyone y Roca Sucia, alejándose del alcance de los receptores solamente en sus salidas nocturnas, probablemente lejos de la isla. Esta fidelidad a sitios específicos ha sido reportada para otras especies pelágicas migratorias como el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Bajo Espíritu Santo, Baja California (Klimley y Holloway, 1999).

S. lewini en la Isla del Coco muestra diferentes niveles de residencia a los sitios de la isla y una preferencia a congregarse en ciertas áreas en particular. Los resultados de los 17 individuos de *S. lewini* analizados mostraron un alto nivel de residencia al bajo de Alcyone, con un gran número de visitas por largos períodos de tiempo. Los sitios de Roca Sucia, Manuelita y Dos Amigos Pequeño también mostraron tiempos prolongados en cada una de sus visitas. Sibaja-Cordero (2008) también llegó a la conclusión que los *S. lewini* en la Isla del Coco, parecen tener una tendencia a permanecer o volver a sitios como Roca Sucia y Alcyone, mientras que en Manuelita presentaban una fidelidad al sitio más baja.

Alcyone es el sitio con el mayor número de detecciones (N=102,911 detecciones) de *S. lewini* en la Isla del Coco. De los 84 tiburones marcados, 68 fueron detectados en este receptor durante todo el periodo de estudio. Esta alta presencia podría deberse a la particularidad de que Alcyone es el sitio más alejado de la isla y con mayores profundidades. Este sitio es conocido por ser una estación de limpieza (Sibaja-Cordero, 2008). A diferencia de Manuelita y Roca Sucia, aquí *S. lewini* no comparte este espacio con otras grandes especies de tiburones (Camargo com. pers.) El hecho que los tiburones prefieran el bajo de Alcyone también podría deberse a que lo utilizan como un punto de

encuentro para emprender sus viajes de forrajeo nocturnos a aguas más profundas, probablemente en busca de alimento. Klimley (1987), Klimley *et al.* (1988) y Galván-Magaña *et al.* (1989), se refirieron a este tipo de lugares como puntos de referencia geográficos, que utilizan los tiburones para orientarse cada vez que se alejan a aguas más profundas para alimentarse. *Sphyrna lewini* se alimenta principalmente de peces y calamares que habitan las aguas oceánicas y que no se encuentran en lugares cercanos a la isla, por lo que estarían utilizando rutas geográficas en sus salidas y regresos entre los bajos y las regiones oceánicas (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989). Klimley (1993) notó que estas rutas de forrajeo nocturno a menudo seguían áreas de máximos y mínimos gradientes magnéticos.

Ketchum *et al.* (2014b) en las islas Galápagos, observó cómo algunos de los tiburones permanecían cerca de la isla durante la noche, posiblemente forrajeando, especialmente durante la temporada cálida. Sin embargo, los sitios de forrajeo solían estar situados en aguas más profundas un poco más alejados de la isla, así lo demostraron las excursiones nocturnas realizadas por la mayoría de los tiburones a unos cuantos kilómetros de la costa.

El mayor número de viajes realizados por los tiburones, entre los sitios con receptores, fue de Manuelita hacia Canal, esto se debe a que al estar estos dos receptores muy cercanos uno del otro, las posibilidades de que un tiburón entre en el rango de detección del receptor de Manuelita como en el de Canal son muy altas. Otra conexión importante es entre Manuelita y Roca Sucia, ambos sitios son conocidos por ser estaciones de limpieza donde los tiburones llegan para ser desparasitados por peces más pequeños, como el pez mariposa barbero (*Johnrandallia nigrirostris*), y por tanto un lugar donde se agrega un gran número de tiburones martillo común (Sibaja-Cordero, 2008). Probablemente los tiburones se mueven entre estos dos lugares según la disponibilidad de espacio para poder desparasitarse, ya que comparten estos sitios con otras especies de tiburones que se acercan a estos sitios con el mismo fin, como el tiburón galápagos (*Carcharhinus galapagensis*) y el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*) (obs. pers.). Además, Manuelita parece ser un sitio de partida hacia los otros lugares de la isla, según los resultados, este es el único lugar con conexión hacia los otros puntos de recepción de la isla, podría tratarse de un punto de encuentro para luego desplegarse hacia otras zonas. La distancia

que pueden recorrer los tiburones durante sus visitas a Canal y a Lobster es de 63.5 y 106.4 metros respectivamente. Conforme a Ketchum *et al.* (2014b), considerando un movimiento lento y no direccional de *S. lewini*, el tiempo estimado necesario para atravesar el rango de la detección de un receptor (400 m de diámetro), con una velocidad promedio de 0.45 ms^{-1} es de 15 minutos. En Canal y Lobster las visitas fueron esporádicas, 26 y 68 visitas respectivamente, y de corta duración (7.4 ± 11.8 DE min en Canal y 7.4 ± 8.5 DE min en Lobster), lo cual podría indicar que los tiburones se encontraban de paso por estos sitios en vez de residiendo.

Según lo observado, Dos Amigos Pequeño es utilizado como un sitio de paso si contamos el número de días que este es visitado por los 17 tiburones analizados (25 días, durante el período septiembre 2011 a noviembre 2013), pero como sitio de residencia en cuanto a la duración de estas visitas, realizando 63 visitas con un promedio de 24.6 min por visita. Dos Amigos Pequeño está situado al suroeste de la isla, por tanto durante la época en que las fuertes corrientes comienzan afectar la isla este es el lugar más expuesto, ya que las corrientes principales de la isla van de suroeste a noreste (Lizano, 2008). Podría ser que el bajo número de visitas, que realizan los tiburones a este lugar, se vea afectado por aquellos días en que las corrientes eran muy fuertes, y por tanto los tiburones para aminorar el gasto energético prefirieran moverse a otros lugares menos expuestos, sin embargo, en los días con buenas condiciones puede que los tiburones si utilizasen este sitio como estación de limpieza, de ahí los valores más altos en el tiempo de residencia.

Estos altos niveles de residencia y uso de ciertas zonas concretas de la isla, podría ajustarse a la hipótesis planteada por Gooding y Magnuson (1967), donde sugieren que el hecho de agruparse en lugares donde existe una alta abundancia y diversidad de especies, podría también maximizar su exposición a los peces limpiadores, que remueven los parásitos de la superficie de sus cuerpos. Dewar *et al.* (2008), con base en sus observaciones de manta rayas gigantes (*Manta birostris*) en el Parque Nacional de Komodo, concluyeron que estas regresaban a determinados sitios dentro del parque para alimentarse y desparasitarse. Estos comportamientos son distintos a los registrados para *Sphyrna tiburo* en un gran estuario de Florida, donde los tiburones no mostraron estar asociados a sitios específicos dentro del estuario, sino que con el tiempo llegaban a utilizar la mayor parte de la superficie disponible (Heupel *et al.*, 2006).

La población de *S. lewini* en la Isla del Coco mostró un patrón dial, con un mayor número de detecciones cerca de los receptores durante el día que la noche. En el día los tiburones se mantienen en grupo cerca de los montes submarinos e islotes, y al anochecer se alejan de la isla hacia aguas más profundas probablemente para alimentarse, como encontró Klimley y Nelson (1984) en el Bajo Espíritu Santo. Los resultados encontrados muestran que los tiburones se alejan de los receptores en las últimas horas de la tarde, volviendo al amanecer del siguiente día. Este mismo comportamiento fue descrito por Hearn *et al.* (2010) y Ketchum *et al.* (2014b) en las Islas Galápagos, y por Bessudo *et al.* (2011b) en Isla Malpelo. Estos movimientos diales son comunes también en otras grandes especies de pelágicos, como en la manta raya gigante (*Manta birostris*), en el tiburón punta negra de arrecife (*Carcharhinus melanopterus*) y el tiburón gris de arrecife (*Carcharhinus amblyrhynchos*) (Economakis y Lobel, 1998; Heupel y Simpfendorfer, 2005; Dewar *et al.*, 2008). No todas las especies de tiburones martillo muestran los mismos patrones de movimiento día/noche, como es el caso de *Sphyrna tiburo* en Florida, donde el mayor número de detecciones se daba durante la noche (Heupel *et al.*, 2006). Al analizar las detecciones dial en cada uno de los receptores se encontró que Lobster es el único de los seis receptores alrededor de la isla que presentó un mayor número de detecciones durante la noche, esta diferencia se adjudica a un individuo en especial, el tiburón #ID 83, este permaneció cerca del receptor de Lobster durante la noche con un gran número de detecciones.

6.2. Movimientos interinsulares

La población de *S. lewini* de la Isla del Coco parece mostrar una conectividad con las Islas Galápagos, pero no con la Isla de Malpelo. De los 84 tiburones marcados en la Isla del Coco, solo un individuo visitó las Islas Galápagos, pero ninguno realizó movimientos a la Isla de Malpelo. El tiburón que se movió hacia Galápagos lo hizo el mismo día de su marcaje, tardando 10 días para su travesía, recorriendo 710 km con una velocidad en línea recta de 0.82 ms^{-1} , siendo este el menor tiempo de travesía entre las Islas Galápagos y la Isla del Coco registrado en este estudio. Este comportamiento es inusual ya que ningún otro tiburón realizó este tipo de movimientos después de ser marcado, por

lo que podría deberse a un estrés posterior al marcaje que ya se ha observado en esta especie (Klimley *et al.*, 1988; Hoffmayer *et al.*, 2013) y en otras grandes especies pelágicas (Hoolihan *et al.*, 2011).

Se encontró que cinco *S. lewini* marcados en Galápagos y cuatro marcados en la Isla de Malpelo posteriormente visitaron la Isla del Coco, mostrando así una conectividad entre las poblaciones de *S. lewini* de estas islas con la Isla del Coco. El número de tiburones que de la Isla del Coco se mueven hacia otras islas del PTO es muy bajo (sólo uno), comparado con el número de tiburones que visitan la Isla del Coco desde Galápagos y Malpelo (9 en total). Bessudo *et al.* (2011b) describieron los movimientos de cinco *S. lewini* marcados en Isla Malpelo que posteriormente se detectaron en la Isla del Coco, en el presente estudio se realizó un análisis más detallado de esos tiburones, y se determinó que son cuatro los tiburones marcados en la Isla de Malpelo que luego visitan la Isla del Coco, de los cuales uno (#ID 5M) posteriormente se mueve a Galápagos, demostrando así una conectividad interinsular entre estas tres islas. Esta diferencia entre los resultados de Bessudo *et al.* (2011b) y los presentes se debe a que uno de esos tiburones a los que hacen referencia, tuvo solo dos detecciones en la Isla del Coco con un intervalo de un mes entre dichas detecciones, por lo tanto se decidió descartar dicho movimiento al no poder validarlo.

Los tiburones martillo común se ausentan de la Isla del Coco durante los primeros meses del año (especialmente durante el mes de marzo) y por largos períodos de tiempo. Estos períodos de ausencia coinciden con lo observado por Bessudo *et al.* (2011b) en su estudio de telemetría acústica en *S. lewini* en Isla Malpelo, donde muchos de los tiburones marcados abandonaban la isla entre marzo y abril. Entre sus observaciones mencionan que muchos de los tiburones que abandonaban la isla en esos meses eran hembras preñadas; según los autores estos resultados soportan la idea de que las hembras de *S. lewini* dejan la isla en estos meses para dirigirse hacia zonas de crianza para dar a luz y luego volver nuevamente a su lugar de origen. Ketchum *et al.* (2014b) en las Islas Galápagos, describen los movimientos de los *S. lewini* que viajan entre las distintas islas de Galápagos y la Isla del Coco, clasifica estos movimientos como viajes de larga distancia, que realizan principalmente las hembras entre marzo y mayo. En sus análisis observa una clara conexión entre la isla de Darwin en Galápagos y la Isla del Coco, demostrada por los viajes de ida y vuelta que realizan estos tiburones en un corto periodo

de tiempo, lo que indicaría que estos movimientos son directos, a diferencia de aquellos realizados entre las diferentes islas de Galápagos, donde a pesar de que las distancias son menores, el tiempo para realizarlos es mayor.

En los resultados de este trabajo se observó que el 78% de las detecciones en la Isla del Coco por parte de los tiburones procedentes de Galápagos y Malpelo fue durante marzo y abril. Durante estas visitas los tiburones permanecían muy pocos días en la Isla del Coco con una mediana de 3 días.

Ketchum (2011) resalta tres áreas de crianza localizadas en el PTO, Golfo Dulce (Costa Rica), la isla de Coiba (Panamá) y la isla de Gorgona (Colombia) (Fig. 19). La ubicación de estos sitios y un bajo índice de residencia a la Isla del Coco por parte de los tiburones visitantes, podría indicar que los individuos de *S. lewini* están usando la Isla del Coco como un punto de paso, posiblemente para moverse hacia alguna de estas áreas de crianza cercanas a la costa, utilizando la isla como una parada para descansar, alimentarse o desparasitarse antes de proseguir hacia el continente.

El tiburón puntas negras (*Carcharhinus limbatus*) también utiliza la zona del Golfo Dulce en Costa Rica, como un área de crianza, ya que la mayor parte de tiburones capturados en esta zona de abril a junio fueron juveniles (Dapp *et al.*, 2013). Esto sugiere que estas áreas de crianza no son utilizadas solamente por las crías de *S. lewini* sino también por otras especies de tiburones.

Según Zanella *et al.* (2009) en su estudio de caracterización de la pesca y distribución de *S. lewini* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, los juveniles de *S. lewini* son capturados durante todo el año, siendo abril el mes con el mayor número de capturas. Al analizar las tallas de captura de 51 juveniles capturados durante ese mes, 47 tenían una longitud total promedio de 56.9 ± 11.61 cm DE, determinando que estos se acercaban a la talla de nacimiento reportada para la especie (47.8 cm para las hembras y 44.7 cm para los machos: Anislado y Mendoza, 2001), infiriendo que esta época y lugar podría corresponder a un área de crianza primaria para *S. lewini*. Los movimientos de larga distancia entre las islas y continente son una posible evidencia de que los tiburones realicen este tipo de migraciones para desplazarse a áreas de crianza (Papastamatiou *et al.*, 2013).

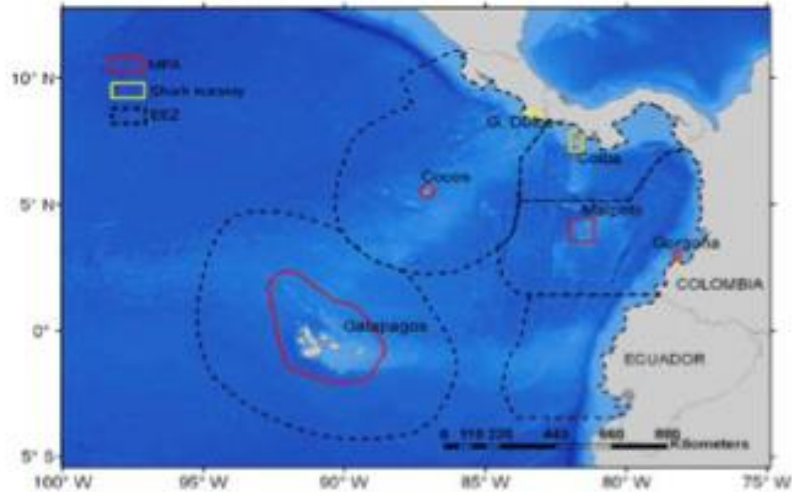


Figura 19. El Pacífico Tropical Oriental, mostrando en amarillo las áreas de crianza de *S. lewini* (Tomado de Ketchum, 2011).

Si el supuesto de que la Isla del Coco es utilizada como lugar de paso por los tiburones para dirigirse hacia áreas de crianza cercanas a la costa es correcta, el mayor número de movimientos entre la Isla del Coco y Galápagos se podría explicar a través de que las hembras provenientes de Galápagos tendrían las zonas de crianza de Costa Rica más cercanas, en cambio, los tiburones de Malpelo podrían dirigirse hacia las áreas de Coiba y Gorgona que se encuentran más cercanas a Malpelo, por lo que tendrían preferencia en moverse hacia esos lugares sin pasar por la Isla del Coco.

6.3. Patrones estacionales, temporales y oceanográficos

El índice de avistamientos de *S. lewini* en la Isla del Coco, en base a las bitácoras de los guías de buceo de la compañía Undersea Hunter, mostró un aumento a inicios de la estación fría, en julio, y una disminución hacia finales de octubre, con el pico de avistamientos durante septiembre. Estos cambios en los avistamientos parecen indicar un patrón estacional definido, probablemente asociado a variaciones de ciertos factores medioambientales, ya que estos cambios en el índice de avistamientos coinciden con la entrada de aguas más frías a la isla. Según la regresión lineal del índice de avistamientos con la TSM, se observa que a mayores temperaturas el índice de avistamientos disminuye. Esta estacionalidad para esta especie coincide con la encontrada en otras

regiones, como fuera de la costa de Sud África, donde los tiburones realizaban sus migraciones durante el verano (Compagno 1984). En el Bajo Espíritu Santo del Golfo de California, Klimley *et al.* (2005) encontraron algo similar, donde las grandes agrupaciones de *S. lewini* sucedían de julio a octubre, durante la época cálida, lo contrario a lo encontrado en la Isla del Coco en cuanto a la relación con la TSM. Se ha observado un patrón estacional similar en la Isla de Malpelo, pero en diferentes épocas, con grandes agrupaciones de esta especie de enero a marzo, con un segundo pico de abundancia en mayo (Bessudo *et al.*, 2011b). En las Islas Galápagos el mayor número de avistamientos va de enero a febrero, con un segundo pico de agosto a octubre (Hearn *et al.*, 2010). Según varios autores otras especies de tiburones tienen preferencia a residir en ciertos lugares o islas de forma estacional, como el tiburón de arrecife del Caribe (*Carcharhinus perezii*) (Brooks *et al.*, 2013), tiburón tigre (*Galeocerdo Cuvier*) (Lowe *et al.*, 2006), y el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) (Gunn *et al.*, 1999).

Sibaja-Cordero (2008) en su estudio de tendencias espacio-temporales en los avistamientos de ciertas especies de tiburones en la Isla del Coco, ya había desarrollado una comparación de los avistamientos de tiburones martillo común con las anomalías de la TSM en las zonas de El Niño entre 1992-2006. En el presente estudio, de 2007 a 2013, se encontraron resultados similares a los de Sibaja-Cordero (2008), donde el promedio de avistamientos/buceo disminuye durante los años donde hubo fuertes eventos de El Niño como en 1992 y 1998, o durante años con episodios cálidos como 2002 y 2009. Durante anomalías de temperatura más bajas el número de avistamientos aumenta, como en 1999, 2000, 2007 y 2008. La hipótesis de Sibaja-Cordero (2008) es que los tiburones durante estos eventos cálidos se muevan por debajo de la termoclina en busca de aguas más frías y por este motivo no son avistados por los buzos.

Se encontró una diferencia en el número de avistamientos/buceo para el total de años analizados (1993-2013), indicando una disminución del 40%, aproximadamente, en el índice de avistamientos de tiburones en los últimos 21 años, lo que sugiere un declive en la población de *S. lewini* en la Isla del Coco. Este descenso en la tasa de avistamientos podría deberse a la constante actividad pesquera que se realiza en las aguas circundantes a la isla. Si este fuera el caso, el área de protección marina del parque no es suficiente para salvaguardar la supervivencia de esta especie que se mueve diariamente dentro y

fuera del área protegida. No existe ningún estudio sobre la actividad pesquera alrededor del Parque Nacional Isla del Coco o sobre la pesca ilegal dentro del área protegida (Cortés, 2012), sin embargo existe documentación en la prensa (Rojas, 2013; Delgado, 2014).

Ketchum (2011) correlaciona la presencia de *S. lewini* con la velocidad de las corrientes de la zona, y concluye que esta especie tiene preferencia por áreas donde la corriente es más fuerte ($>0.8 \text{ ms}^{-1}$), sin embargo, los resultados encontrados en este trabajo muestran que el índice de avistamientos de tiburones martillo común en la Isla del Coco no está significativamente relacionado con la velocidad de la corriente que afecta a toda la isla. No obstante, sí se observa que a velocidades bajas de la corriente entre $0.1-0.3 \text{ ms}^{-1}$ el índice de avistamientos es mayor que a velocidades más altas ($> 0.3 \text{ ms}^{-1}$). Los tiburones a velocidades intermedias de la corriente son atraídos a las estaciones de limpieza, y si esta es muy fuerte cambian de posición y se ubican en zonas más alejadas de los islotes o montes submarinos contra corriente, en donde forman las grandes agrupaciones (Herreño com. pers.). Sin embargo, Bessudo *et al.* (2011b) en Isla Malpelo encontraron que la presencia de tiburones era más común en el lado de la isla donde las corrientes eran más fuertes. Hearn *et al.* (2010) en la isla de Wolf en Galápagos, observaron que en el lado corriente arriba de la isla, la abundancia de especies pelágicas era mayor, señalando que estos sitios tienen un gran recurso alimenticio capaz de mantener un gran número de depredadores tope, como *S. lewini*, aunque estos probablemente no se alimenten en estas zonas tan cercanas a la isla.

Se observó un aumento en el índice de avistamientos a salinidades más altas (32.5-33.5). Lizano (2008) establece que, cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está más al norte, de julio a septiembre, los valores de salinidad superficial del mar (SSM) alrededor de la isla son los más altos (33.27). Por tanto, estos meses corresponden tanto a la llegada de aguas frías a la isla (julio a diciembre), como a un aumento en los valores de la SSM, las características de estas variables oceanográficas resultan en un aumento en el índice de avistamientos. Ambas variables están correlacionadas, por lo que parece que los tiburones responden a ambas variables.

Según Ketchum *et al.* (2014b) los movimientos de larga distancia pueden estar relacionados a áreas de alta productividad, donde las presas son más abundantes, en vez que a las TSM o a la velocidad de la corriente. En el presente estudio no se pudo obtener datos de productividad de la zona en cuestión, aunque si podría ser que cambios regionales de productividad del mar se vean reflejados en variaciones de avistamientos de tiburones a escala local.

6.4. Implicaciones para el manejo y la conservación

La observación de tiburones como una nueva forma de turismo se ha vuelto muy popular en los últimos años a nivel mundial, los ingresos económicos de esta actividad en los diferentes lugares que se lleva a cabo, es mayor que el valor total de los desembarques pesqueros de tiburones correspondiente a cada país (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013). El número de turistas que realizan estas actividades debería ser tomado en cuenta para cuestiones del manejo de estas áreas, ya que el impacto humano en zonas protegidas y aisladas puede ser considerable (Bruce y Bradford, 2012). Para ello es necesario realizar estudios para estimar la capacidad de carga de la zona, como se ha realizado en otros lugares conocidos por ser atractivos turísticos para la observación de tiburones. Un ejemplo de ello es la elaboración de un modelo de estimación para la Capacidad de Carga Turística en la actividad de observación de tiburón ballena en Bahía de Los Ángeles, Baja California (Peregrín-Tovar, 2014). Según la literatura los buceos dirigidos hacia el avistamiento de tiburones como forma de ecoturismo juegan un papel importante para el conocimiento y apoyo de la conservación de especies vulnerable y en peligro de extinción (Dobson *et al.*, 2005; Krüger, 2005). Aun así, se deben tomar medidas precautorias en cuanto al manejo e implementación de las operaciones de buceo que trabajan en la isla, ya que aún no existen estudios sobre los impactos ecológicos que estas actividades pueden ocasionar de forma directa o indirecta sobre el hábitat y los organismos que lo habitan.

El turismo es capaz de proporcionar beneficios económicos a actividades que se enfocan en la industria del turismo medioambiental. El mejor ejemplo es la industria de la observación de ballenas, según las encuestas la reanudación de la caza comercial en los países con una industria de observación de ballenas se vería afectada en cuanto al número de visitantes. Este tipo de turismo puede proveer un aporte económico directo para estrategias de conservación, a través de los turistas dispuestos a pagar en acciones para la conservación (Dobson *et al.*, 2005).

El Parque Nacional Isla del Coco beneficia al país no solo con la protección de recursos marinos de gran valor, como el tiburón martillo común, sino también en diferentes actividades económicas y sociales que se desarrollan en la isla (Moreno-Díaz, 2012). En este estudio y en el trabajo de Sibaja-Cordero (2008), se observó una disminución en los últimos años de especies importantes en la Isla del Coco, como es el caso de *S. lewini*. Según Moreno-Díaz (2012), una disminución así podría conllevar a una reducción de hasta el 30% en los ingresos del parque, como consecuencia de la disminución de turistas que llegan a la isla para la observación de esta especie, ya que del total de turistas que anualmente visitan la isla, el 98% lo hacen para la observación de tiburones.

La Isla del Coco tiene la ventaja de poseer lugares de agregación de diferentes especies de tiburones incluyendo a *S. lewini*. Después de haber determinado la posible conectividad con otras islas del PTO y con áreas de crianza en la costa, la designación de nuevas áreas marinas protegidas tanto a escala local como regional es de relevante importancia para proporcionar refugios seguros a estas especies tanto en sus zonas de agrupación como en sus movimientos migratorios.

El cierre de áreas y vedas estacionales sería una medida efectiva para disminuir las capturas de juveniles y hembras preñadas que migran desde las islas hasta las zonas de crianza. Se necesita más información acerca de los lugares y épocas en que los tiburones martillo común realizan estas migraciones hacia la costa, para determinar planes de manejo efectivos para las pesquerías de palangre de Costa Rica, pero no solo a escala local sino regional.

En 2005 se aprobó en Costa Rica una ley de pesca, que prohíbe el desembarque de los tiburones sin sus aletas adheridas al cuerpo (Ley de Pesca y Acuicultura #8436). Según

Dapp *et al.* (2013), esta ley no ha sido suficiente ya que no hace ninguna referencia a la sobrepesca de tiburones, sino solo a la práctica del aleteo. Lastimosamente esto no es suficiente ya que muchos de los barcos palangreros que faenan cerca de la Isla del Coco, entran al área marina protegida del Parque Nacional en busca de tiburones (obs. pers). Por lo que es necesaria una estricta aplicación de la ley a estas embarcaciones aún en zonas tan remotas al continente, lo que muy pocas veces se aplica.

Los tiburones son capturados por sus aletas, su carne o como carnada (Dapp *et al.*, 2013). A los pescadores se les paga USD\$10/kg por las aletas pequeñas (Whoriskey *et al.*, 2011) y USD\$70/kg por las aletas grandes (Arauz com. pers). *S. lewini* es el tiburón martillo con el mayor número de capturas del Pacífico Mexicano, América Central, Norte y Sur América. Por lo que el esfuerzo para coordinar estrategias de manejo y conservación tiene que ser una coordinación de diferentes países del Pacífico Oriental (Pérez-Jiménez, 2014).

7. Conclusiones

- *S. lewini* en la Isla del Coco es recurrente, ya que retorna a la isla después de largas ausencias que pueden durar varios meses, mostrando una residencia temporal y no permanente en la isla.
- La mayoría de tiburones se distribuyen alrededor de toda la isla, con un gran número de movimientos entre los sitios de Manuelita y Roca Sucia. En el análisis de movimientos horizontales se observó un comportamiento individual de los tiburones en vez de grupal.
- Alcyone es el sitio más visitado de la Isla del Coco por *S. lewini* con 102,911 detecciones, representando el 55.8% total de detecciones, por parte de 68 tiburones; las características oceanográficas de este sitio y la baja presencia de otras especies de tiburones lo hacen ideal para ser un punto de agregación de *S. lewini*.
- Los resultados muestran una preferencia en la utilización y residencia de ciertos sitios específicos como los bajos de Alcyone y Roca Sucia, y los islotes de Manuelita y Dos Amigos Pequeño ya sea que los usen como estaciones de limpieza, refugio o como puntos de partida para sus forrajeos nocturnos. Canal y Lobster en cambio, se identificaron como sitios de paso.
- Existe un patrón diel en la presencia de tiburones en la isla, con un mayor número de detecciones cerca de los receptores durante el día que la noche.
- Los movimientos interinsulares de la población de *S. lewini* de la Isla del Coco es muy bajo comparado con aquellos realizados por las poblaciones que habitan las islas Galápagos y Malpelo, esto y el bajo índice de residencia de los tiburones visitantes podría demostrar que los tiburones usan la Isla del Coco como punto de paso en sus migraciones hacia áreas de crianza.
- Los tiburones muestran un patrón estacional, tanto en el número de avistamientos en la isla durante ciertos meses del año, como en sus migraciones interinsulares. Este patrón estacional está probablemente asociado a las corrientes y temperatura del agua.

- Existe una disminución del 40% en el índice de avistamientos de *S. lewini* en la Isla del Coco en los últimos 21 años, esto podría ser el efecto de la constante presión pesquera que se ejerce en las aguas cercanas a la isla. También existe una disminución en los avistamientos de tiburones durante eventos de El Niño o durante años de episodios cálidos, mientras que en años con temperaturas más bajas de lo habitual el número de avistamientos es mayor.
- Según lo observado *S. lewini* se mueve ampliamente dentro y fuera del área protegida del parque, tanto cuando realizan movimientos interinsulares, como cuando se desplazan a aguas más profundas durante la noche posiblemente fuera del área protegida, por lo que los esfuerzos de conservación tienen que extenderse más allá del área protegida, tanto en aguas nacionales como internacionales.

Lista de referencias

- Acuña-González, J., García-Céspedes, J., Gómez-Ramírez, E., Vargas-Zamora, J. A., y Cortés, J. (2008). Parámetros físico-químicos en aguas costeras de la Isla del Coco, Costa Rica (2001-2007). *Revista de Biología Tropical*, 56(Suppl. 2), 49–56.
- Alfaro, E. J. (2008). Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(Suppl. 2), 19–29.
- Alvarado-Induni, G. E. (2000). *Volcanes de Costa Rica: Geología, historia y riqueza natural*. San José, Costa Rica, EUNED.
- Amador, J., Alfaro, E. J., Lizano, O. G., and Magaña, V. (2006). Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific. *Progress in Oceanography*, 69, 101-142.
- Anislado-Tolentino, V., Cabello, M. G., Linares, F. A., y Mendoza, C. R. (2008). Edad y crecimiento del tiburón martillo, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) de la costa sur de Sinaloa, México. *Hidrobiológica*, 18, 31-40.
- Anislado-Tolentino, V., y Robinson-Mendoza, C. (2001). Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en el Pacífico central de México. *Ciencias Marinas*, 27, 501–520.
- Bejarano-Álvarez, M., Galván-Magaña, F. and Ochoa-Báez, R. I. (2011). Reproductive biology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Chondrichthyes: Sphyrnidae) off south-west Mexico. *Aqua*, 17, 11–22.
- Bessudo, S., Soler, G. A., Klimley, A. P., Ketchum, J., Arauz, R., Hearn, A., Guzmán A., and Calmettes, B. (2011a). Vertical and horizontal movements of scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) around Malpelo and Cocos islands (Tropical Eastern Pacific) using satellite telemetry. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40, 91–106.
- Bessudo, S., Soler, G. A., Klimley, A. P., Ketchum, J. T., Hearn, A., and Arauz, R. (2011b). 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, 161-173.

- Branstetter, S. (1990). Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the northwest Atlantic. In: H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). *Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries*. 17-28. NOAA.
- Bruce, B. D., and Bradford, R. W. (2012). The effects of shark cage-diving operations on the behaviour and movements of white sharks, *Carcharodon carcharias*, at the Neptune Islands, South Australia. *Marine Biology*, 160, 889–907.
- Bolnick, D. I., Svanbäck, R., Fordyce, J. A., Yang, L. H., Davis, J. M., Hulseay, C. D., and Forister, M. L. (2003). The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *The American Society of Naturalist*, 161, 1–28.
- Bush, A., and Holland, K. (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, Hawai'i. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 278, 157–178.
- Castro, J. I. (2011). *The Sharks of North America*. Oxford University Press, New York.
- Cisneros-Montemayor, A. M., Barnes-Mauthe, M., Al-Abdulrazzak, D., Navarro-Holm, E., and Sumaila, U. R. (2013). Global economic value of shark ecotourism: implications for conservation. *Oryx*, 47, 381-388.
- Clarke, C., Lea, J. S. E., and Ormond, R. F. G. (2011). Reef-use and residency patterns of a baited population of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, in the Red Sea. *Marine and Freshwater Research*, 62, 668-675.
- Clarke, T. A. (1971). Ecology of scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in Hawaii. *Pacific Science*, 25, 133-144.
- Compagno, L. J. V. (1984). Sharks of the World. *An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part II (Carcharhiniformes)*. FAO Fisheries Synopsis No. 125, Vol. 4, Part II. FAO, Rome.
- Compagno, L. J. V., Krupp, F., and Schneider, W. (1995). Tiburones. *Guia FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental*, 647-744.
- Cortés, E. (1999). Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. *ICES Journal of Marine Science*, 56, 707–717.
- Cortés, J. (2012). Bibliografía sobre investigaciones marinas, oceanográficas, geológicas y atmosféricas en el Parque Nacional Isla del Coco y aguas adyacentes, Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 363-392.
- Cortés, J., and Blum, S. (2008). Life to 450 m depth at Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56, 189–206.

- Daly-Engel, T. S., Seraphin, K. D., Holland, K. N., Coffey, J. P., Nance, H. A., Toonen, R. J., and Bowen, B. W. (2012). Global phylogeography with mixed-marker analysis reveals male-mediated dispersal in the endangered scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *PLoS One*, 7, e29986.
- Dapp, D., Arauz, R., Spotila, J. R., and O'Connor, M. P. (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.
- Delgado, D. (2014). *7 tiburones aparecen muertos en la Isla del Coco*. Recuperado el 11 de septiembre de 2014, de http://www.nacion.com/sucesos/seguridad/tiburones-aparecen-muertos-Isla-Coco_0_1422657740.html
- Dewar, H., Mous, P., Domeier, M., Muljadi, A., Pet, J., and Whitty, J. (2008). Movements and site fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia. *Marine Biology*, 155, 121–133.
- Dobson, J., Jones, E., & Botterill, D. (2005). Exploitation or conservation: can wildlife tourism help conserve vulnerable and endangered species?. *Interdisciplinary Environmental Review*, 7, 1-12.
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., Carlson, J. K., Davidson, L. N. K., Fordham, S. V., Francis, M. P., Pollock, C. M., Simpfendorfer, C. A., Burgess, G. H., Carpenter, K. E., Compagno, L. J. V., Ebert, D. A., Gibson, C., Heupel, M. R., Livingstone, S. R., Sanciangco, J. C., Stevens, J. D., Valenti, S., and White, W. T. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*, 3, 1–34.
- Duncan, K. M., and 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.
- Duncan, K. M., Martin, A. P., Bowen, B. W., and De Couet, H. G. (2006). Global phylogeography of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *Molecular Ecology*, 15, 2239–2251.
- Ebert, D. A., Fowler, S., and Compagno, L. (2013). *Sharks of the World: A Fully Illustrated Guide*. Wild Nature Press, Plymouth, United Kingdom.
- Economakis, A. E., and Lobel, P. S. (1998). Aggregation behavior of the grey reef shark, *Carcharhinus amblyrhynchos*, at Johnston Atoll, Central Pacific Ocean. *Environmental Biology of Fishes*, 51, 129–139.
- Estupiñán-Montaño, C., Cedeño-Figueroa, L. G., y Galván-Magaña, F. (2009). Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) (Chondrichthyes) en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44, 379–386.

- Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 143–180.
- Friedlander, A. M., and DeMartini, E. E. (2002). Contrasts in density, size, and biomass of reef fishes between the northwestern and the main Hawaiian islands: the effects of fishing down apex predators. *Marine Ecology Progress Series*, 230, 253-264.
- Friedlander, A. M., Zgliczynski, B. J., Ballesteros, E., Aburto-Oropeza, O., Bolaños, A., and Sala, E. (2012). The shallow-water fish assemblage of Isla del Coco National Park, Costa Rica: structure and patterns in an isolated, predator-dominated ecosystem. *Revista de Biología Tropical*, 60, 321–338.
- Galván-Magaña, F., Nienhuis, H. J. and Klimley, A. P. (1989). Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. *California Fish and Game*, 75, 74-84.
- Garrison, G. (2005). *Peces de la Isla del Coco*. (Segunda ed.). Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Gooding, R. M., and Magnuson, J. J. (1967). Ecological significance of a drifting object to pelagic fishes. *Pacific Science*, 21, 486-497.
- Gunn, J. S., Stevens, J. D., Davis, T. L. O., and Norman, B. M. (1999). Observations on the short-term movements and behaviour of whale sharks (*Rhincodon typus*) at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine Biology*, 135, 553–559.
- Hamilton III, W. J., and Watt, K. E. F. (1970). Refuging. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1, 263–286.
- Hearn, A., Ketchum, J., Klimley, A. P., Espinoza, E., and Peñaherrera, C. (2010). Hotspots within hotspots? Hammerhead shark movements around Wolf Island, Galápagos Marine Reserve. *Marine Biology*, 157, 1899–1915.
- Hemelrijk, C. K. (2002). Understanding Social Behaviour with the Help of Complexity Science (Invited Article). *Ethology*, 108, 655-671.
- Heupel M. R., and Simpfendorfer C. A. (2005). Quantitative analysis of aggregation behavior in juvenile blacktip sharks. *Marine Biology*, 147, 1239–1249.
- Heupel, M. R., Simpfendorfer, C. A., Collins, A. B., and Tyminski, J. P. (2006). Residency and movement patterns of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, in a large Florida estuary. *Environmental Biology of Fishes*, 76, 47–67.
- Hoffmayer, E. R., Franks, J. S., Driggers III, W. B., and Howey, P. W. (2013). Diel vertical movements of a scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in the northern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 89, 551–557.

- Holland, K. N., Wetherbee, B. M., Peterson, J. D., and Lowe, C. G. (1993). Movements and distribution of hammerhead shark pups on their natal grounds. *Copeia*, 1993, 495–502.
- Hoolihan, J. P., Luo, J., Abascal, F. J., Campana, S. E., De Metrio, G., Dewar, H., Domeier, M. L., Howey, L. A., Lutcavage, M. E., Musyl, M. K., et al. (2011). Evaluating post-release behaviour modification in large pelagic fish deployed with pop-up satellite archival tags. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 68, 880-889.
- IUCN (2013). *IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperado el 23 agosto del 2013, de: www.iucnredlist.org
- Jorgensen, S. J., Klimley, P. A., and Muhlia-Melo, A. F. (2009). Scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*, utilizes deep-water, hypoxic zone in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology*, 74, 1682–1687.
- Ketchum, J. T. (2011). *Movement patterns and habitat use of Scalloped Hammerhead Sharks (Sphyrna lewini) in the Galapagos Islands: Implications for the design of Marine Reserves*. Tesis de doctorado en Filosofía en Ecología. University of California Davis. 182 p.
- Ketchum, J. T., Hearn, A., Klimley, A. P., Espinoza, E., Peñaherrera, C., and Largier, J. L. (2014a). 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.
- Ketchum, J. T., Hearn, A., Klimley, A. P., Peñaherrera, C., Espinoza, E., Bessudo, S., Soler, G., and Arauz, R. (2014b). 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, 939–951.
- Klimley, A. P. (1980). Observations of courtship and copulation in the Nurse Shark, *Ginglymostoma cirratum*. *Copeia*, 4, 878–882.
- Klimley, A. P. (1987). The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes*, 18, 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, 1–22.
- Klimley, A. P., Butler, S. B., Nelson, D. R., and Stull, A. T. (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, 751–761.
- Klimley, A. P., and Holloway, C. F. (1999). School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Marine Biology*, 133, 307-317.

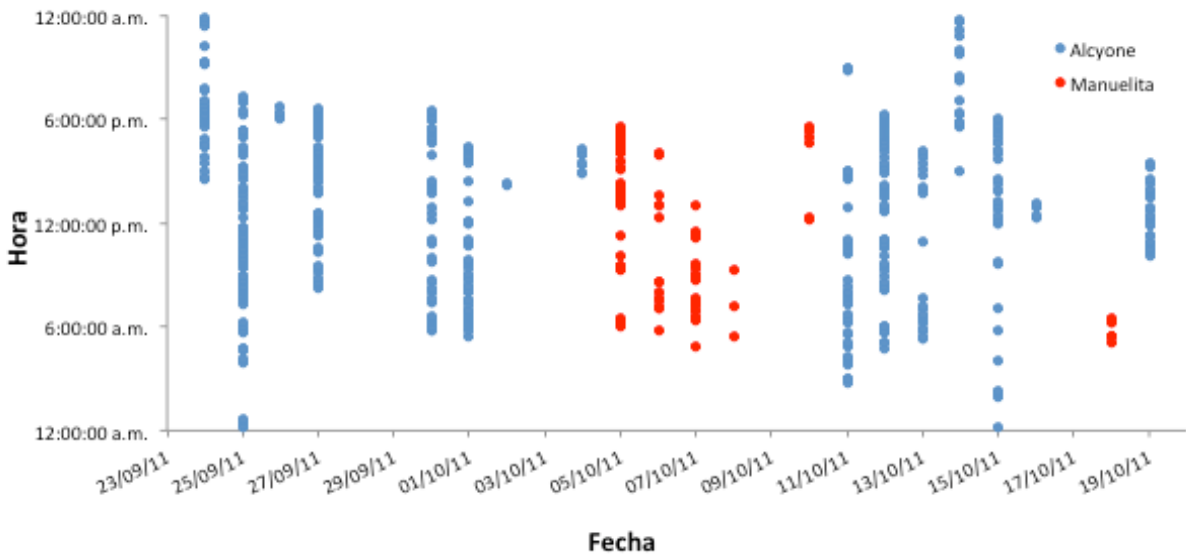
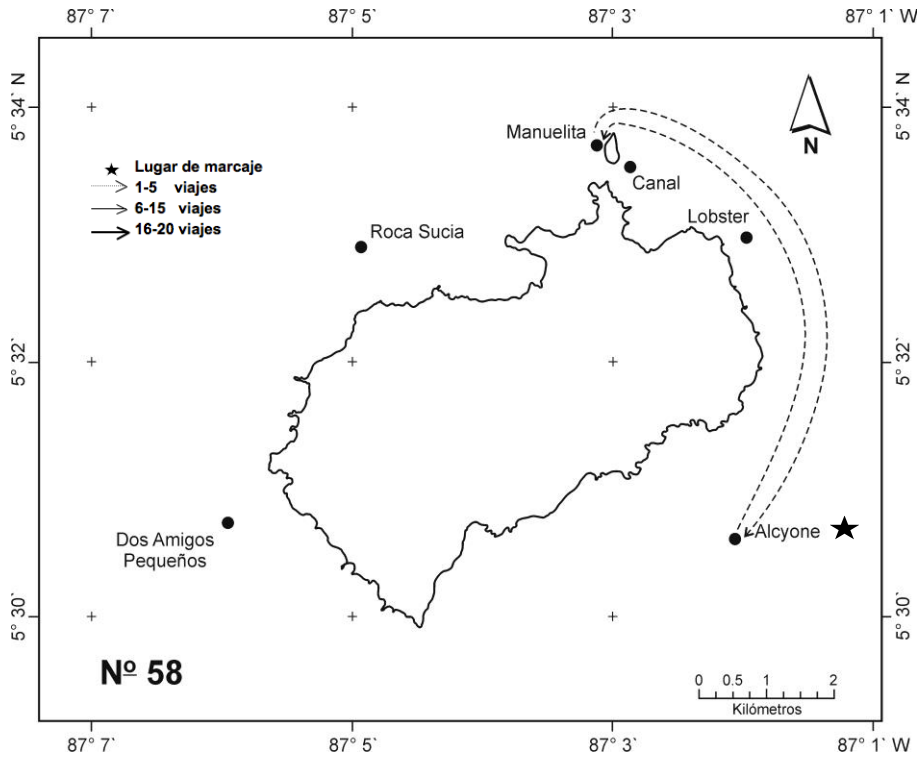
- Klimley, P. A., and Nelson, D. R. (1981). Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 79, 356–360.
- Klimley, P. A., and Nelson, D. R. (1984). Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: a refuging central-position social system. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 15, 45–54.
- Klimley, P. A., Richert, J. E., and Jorgensen, S. J. (2005). The Home of Blue Water Fish. *American Scientist*, 93, 42–49.
- Krüger, O. (2005). The role of ecotourism in conservation: panacea or Pandora's box?. *Biodiversity and Conservation*, 14, 579-600.
- Lizano, O. G. (2001). Batimetría de la plataforma insular alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49, 163–170.
- Lizano, O. G. (2008). Dinámica de aguas alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56, 31–48.
- López-Garro, A., Arauz-Vargas, R., Zanella, I., y Le Foulgo, L. (2009). Análisis de las capturas de tiburones y rayas en las pesquerías artesanales de Tárcoles, Pacífico Central de Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 1, 145–157.
- Lorance P., Uiblein F., and Latrouite D. (2002). Habitat, behavior and colour patterns of orange roughy *Hoplostethus atlanticus* (Piscis: *Trachichthyidae*) in the Bay of Biscay. *Journal of the Marine Biology Association of the UK*, 82, 321–331.
- Lowe, C. G., Wetherbee, B. M., and Meyer, C. G. (2006). Using acoustic telemetry monitoring techniques to quantify movement patterns and site fidelity of sharks and giant trevally around French Frigate Shoals and Midway Atoll. *Atoll Research Bulletin*, 543, 281–303.
- McFarland, W., and Levin, S. (2002). Modelling the effects of current on prey acquisition in planktivorous fishes. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 35, 69-85.
- MIGRAMAR (2014). *Migramar*. Recuperado el 15 febrero del 2014, de: <http://migramar.org/hi/who-we-are/>
- Miller, M. H., Carlson, J., Cooper, P., Kobayashi, D., Nammack, M., and Wilson, J. (2013). Status Review Report: Scalloped Hammerhead Shark (*Sphyrna lewini*).
- Moreno-Díaz, M. L. (2012). Actividades socioeconómicas en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica y posibles efectos de la variabilidad climática. *Revista de Biología Tropical*, 60, 113–129.

- NOAA (2005). *Climate Prediction Center*. Recuperado el 26 marzo del 2014, de: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>
- NOAA (2007). *OceanWatch LAS*. Recuperado el 13 marzo del 2014, de: <http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>
- Olsen, A. M. (1954). The biology, migration and growth rate of the school shark *Galeorhinus australis* (Macleay) (*Carcharhinidae*) in south-eastern Australian waters. *Australian Journal of Marine & Freshwater Research*, 5, 353–410.
- Papastamatiou, Y. P., Meyer, C. G., Carvalho, F., Dale, J. J., Hutchinson, M. R., and Holland, K. N. (2013). Telemetry and random-walk models reveal complex patterns of partial migration in a large marine predator. *Ecology*, 94, 2595–2606.
- Peregrín-Tovar, A. A. (2014). *Bases para la estimación de la Capacidad de Carga Turística y propuestas para su implementación para la actividad de avistamiento de tiburón ballena (Rhincodon typus) en Bahía de los Ángeles, B.C.* Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 84 p.
- Pérez-Jiménez, J. C. (2014). Historical records reveal potential extirpation of four hammerhead sharks (*Sphyrna spp.*) in Mexican Pacific waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24, 671–683.
- Pinhal, D., Shivji, M. S., Vallinoto, M., Chapman, D. D., Gadig, O. B. F., and Martins, C. (2012). Cryptic hammerhead shark lineage occurrence in the western South Atlantic revealed by DNA analysis. *Marine Biology*, 159, 829–836.
- Rojas, P. (2013). *Pescadores ilegales siguen aleteando tiburones en Isla del Coco*. Recuperado el 11 de septiembre de 2014, de <http://www.crhoy.com/pescadores-ilegales-siguen-aleteando-tiburones-en-isla-del-coco/>
- Rojas, W., y Alvarado, G. E. (2012). Marco geológico y tectónico de la Isla del Coco y la región marítima circunvecina, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 15–32.
- Sibaja-Cordero, J. A. (2008). Tendencias espacio-temporales de los avistamientos de fauna marina en los buceos turísticos (Isla del Coco, Costa Rica). *Revista de Biología Tropical*, 56, 113–132.
- Sibaja-Cordero, J. A., Troncoso, J. S., Benavides-Varela, C., and Cortés, J. (2012). Distribution of shallow water soft and hard bottom seabeds in the Isla del Coco National Park, Pacific Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 53–66.

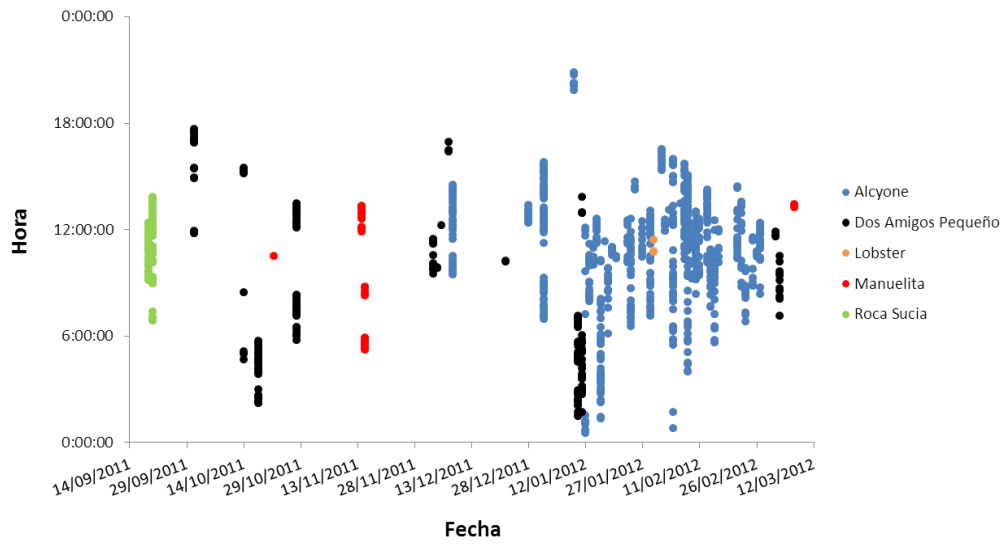
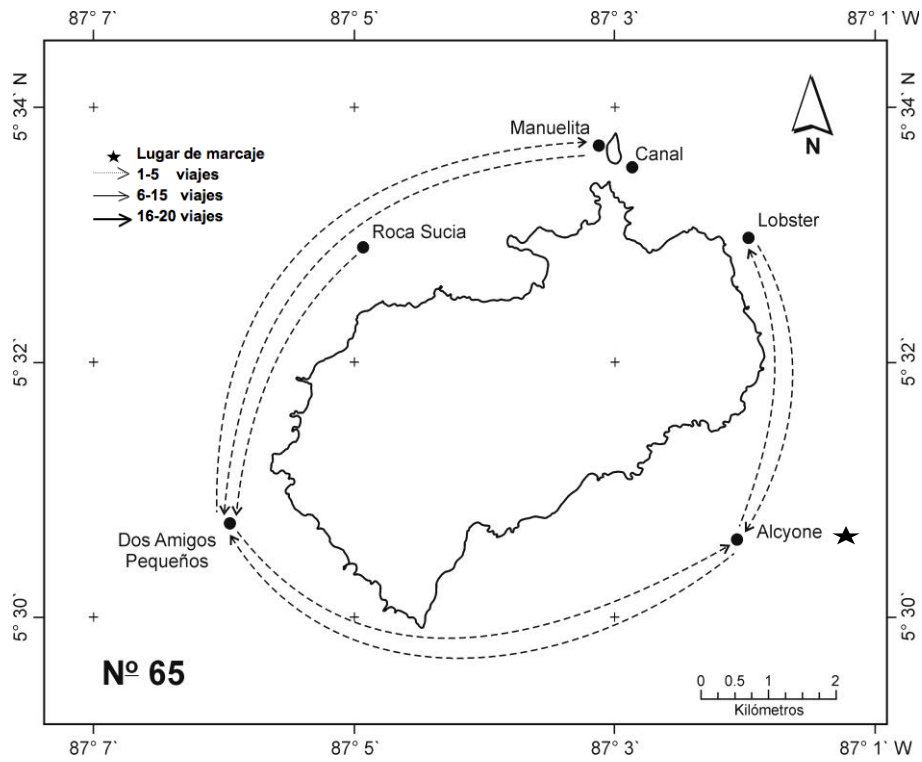
- Simpfendorfer, C. A. and M. R. Heupel. (2004). Assessing habitat use and movement. In: Carrier J. C., J. A. Musick and M. R. Heithaus (Eds.). *Biology of sharks and their relatives*. 553-572. CRC Press.
- Stevens, J. D., and Lyle, J. M. (1989). Biology of Three Hammerhead Sharks (*Eusphyrna blochii*, *Sphyrna mokarran* and *S. lewini*) from Northern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 40, 129–46.
- Torres-Rojas, Y. E., Páez-Osuna, F., Hernández-Herrera, A., Galván-Magaña, F., Aguiñiga-García, S., Villalobos-Ortíz, H., and Sampson, L. (2013). Feeding grounds of juvenile scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in the south-eastern Gulf of California. *Hydrobiologia*, 726, 81-94.
- Voegeli, F. A., Smale, M. J., Webber, D. M., Andrade, Y., and O'Dor, R. K. (2001). Ultrasonic telemetry, tracking and automated monitoring technology for sharks. In *The behavior and sensory biology of elasmobranch fishes: an anthology in memory of Donald Richard Nelson*. 267-282. Springer Netherlands.
- Whoriskey, S., Arauz, R., and Baum, J. K. (2011). Potential impacts of emerging mahi-mahi fisheries on sea turtle and elasmobranch bycatch species. *Biological Conservation*, 144, 1841-1849.
- Zanella, I., López, A., y Arauz, R. (2009). Caracterización de la pesca del tiburón martillo, *Sphyrna lewini*, en la parte externa del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 1, 175–195.

Apéndices

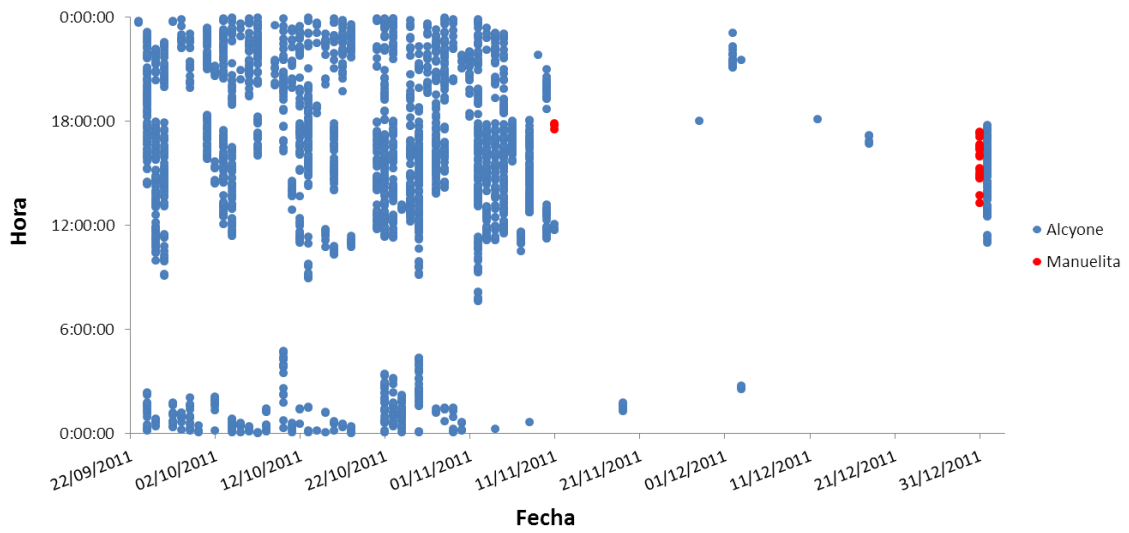
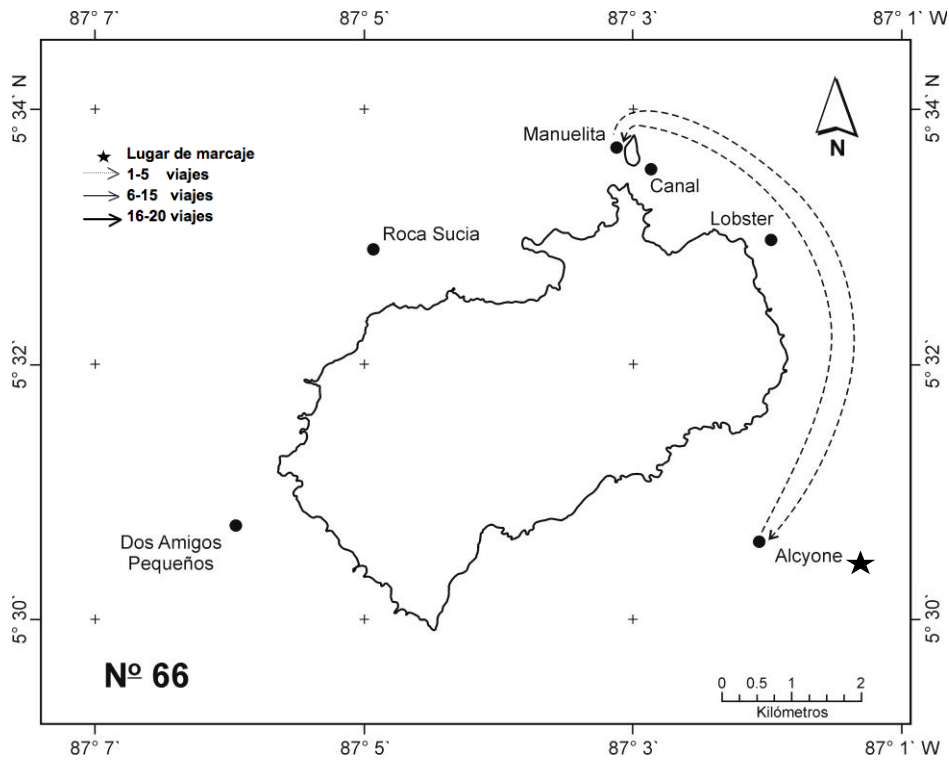
S. lewini 58 (Hembra, 140 cm LT)



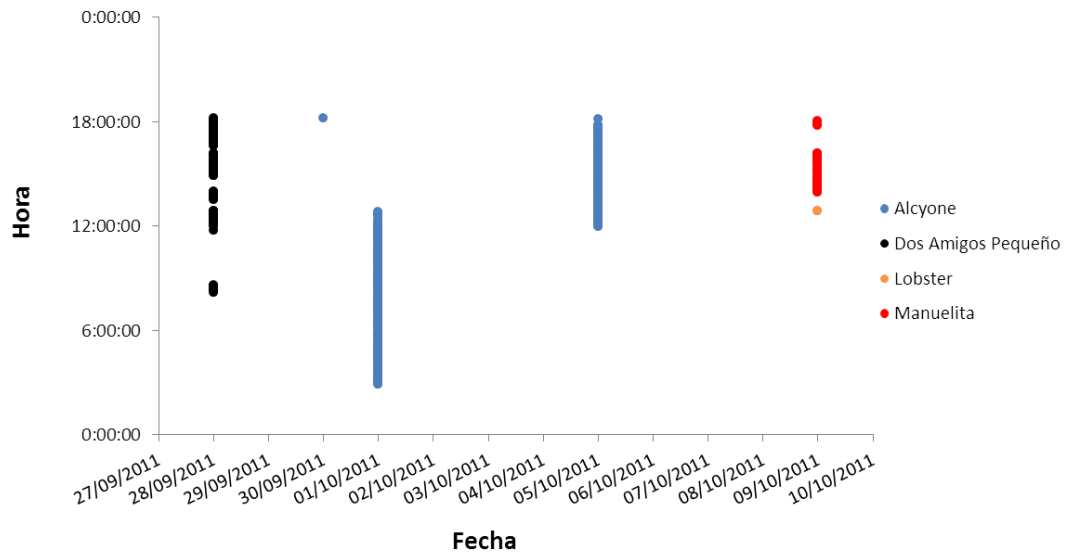
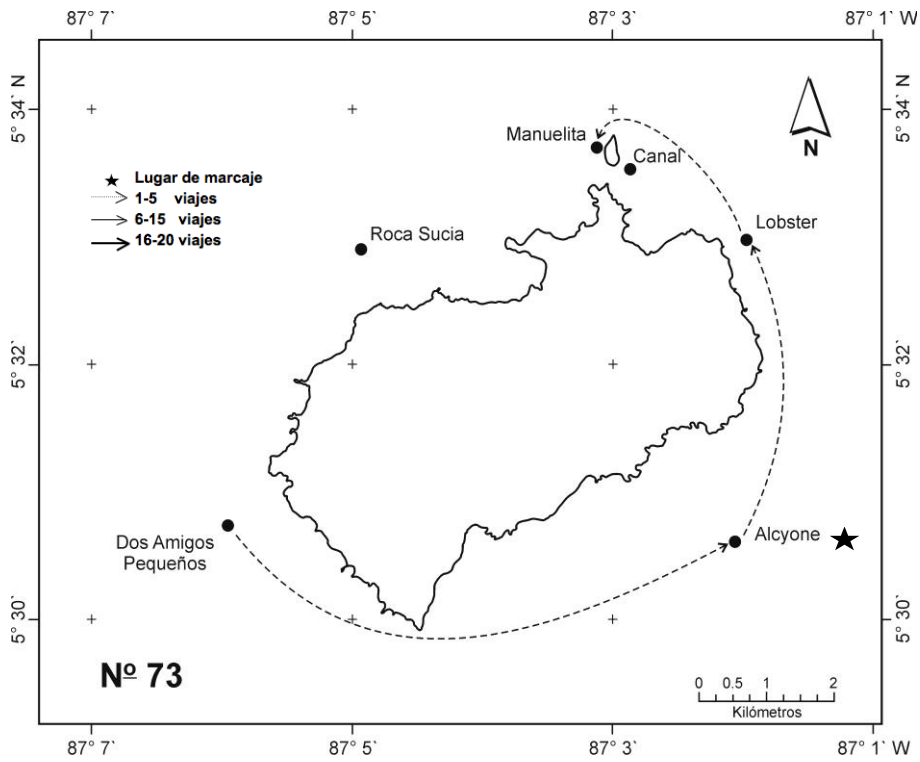
S. lewini 65
(ND, 150 cm LT)



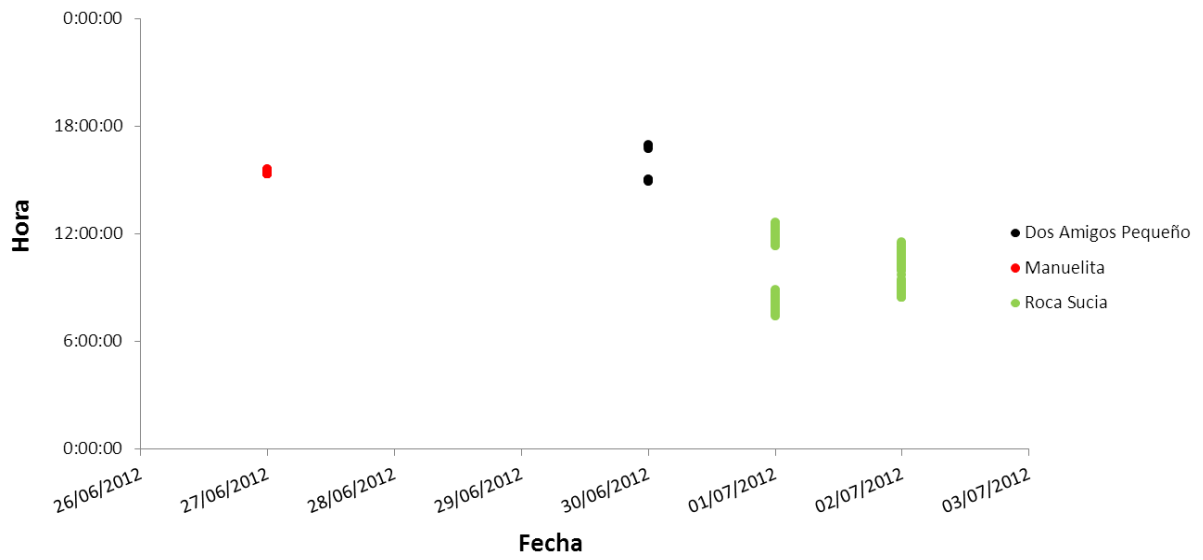
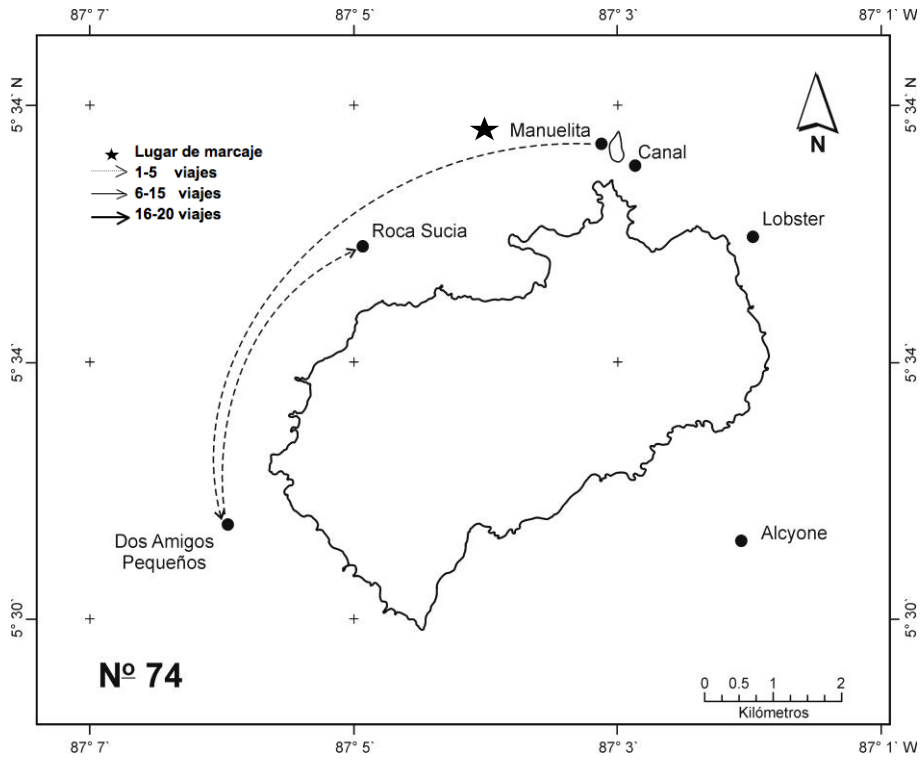
S. lewini 66
(ND, 150 cm LT)



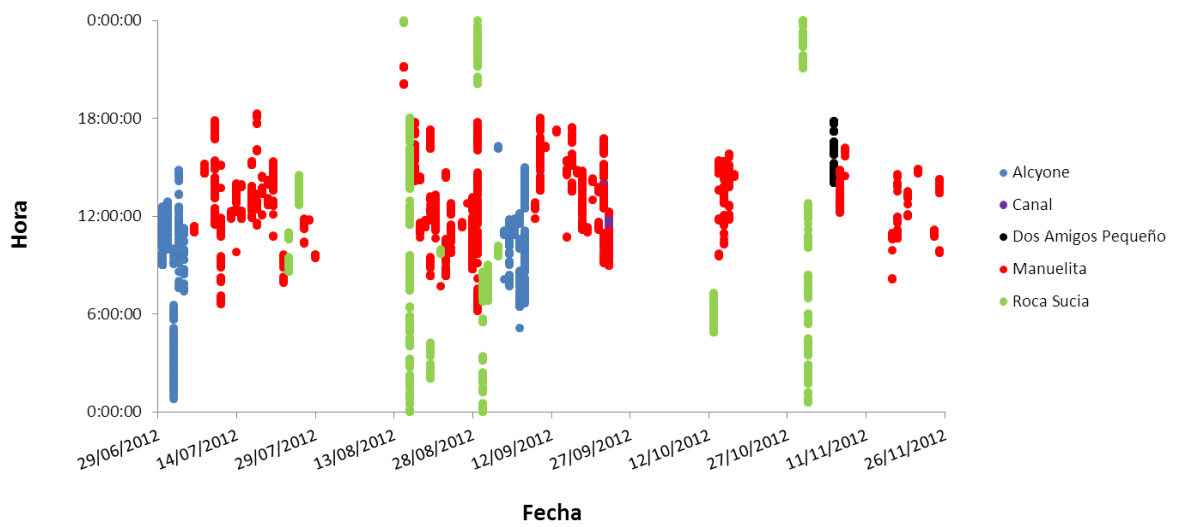
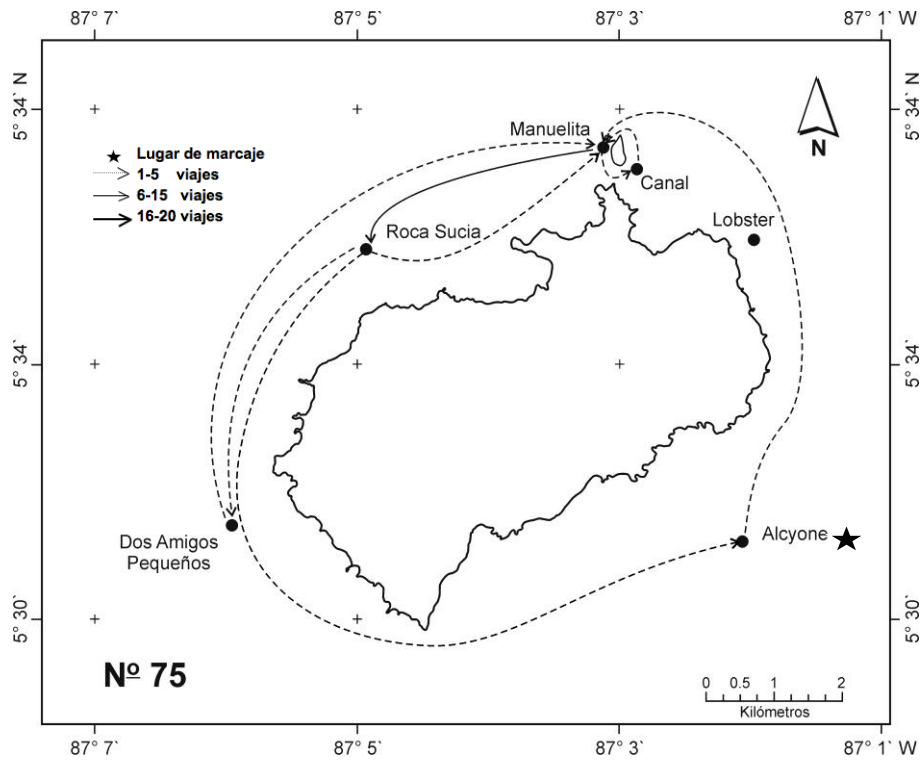
S. lewini 73 (Hembra)



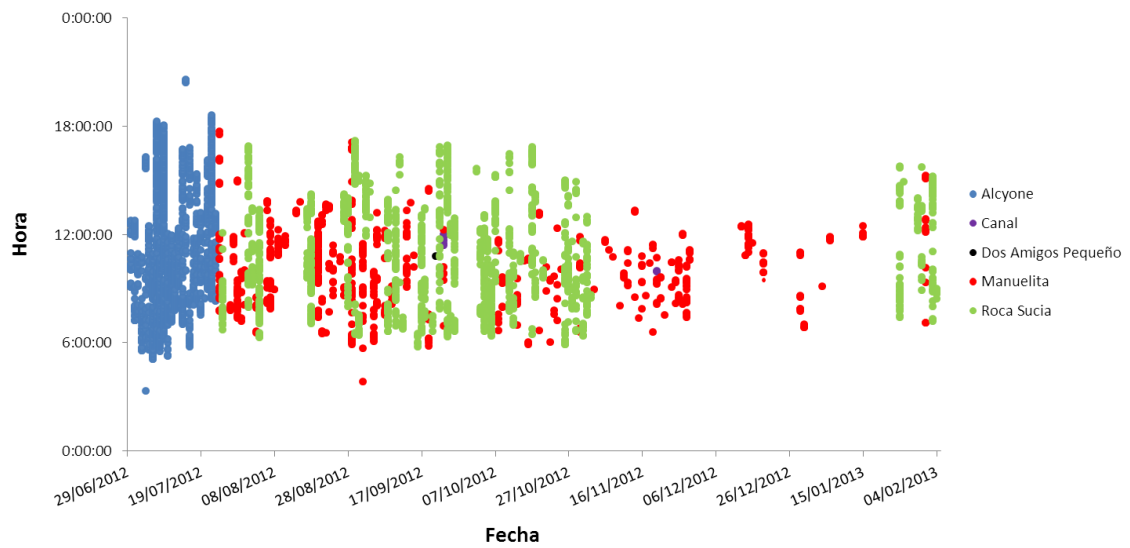
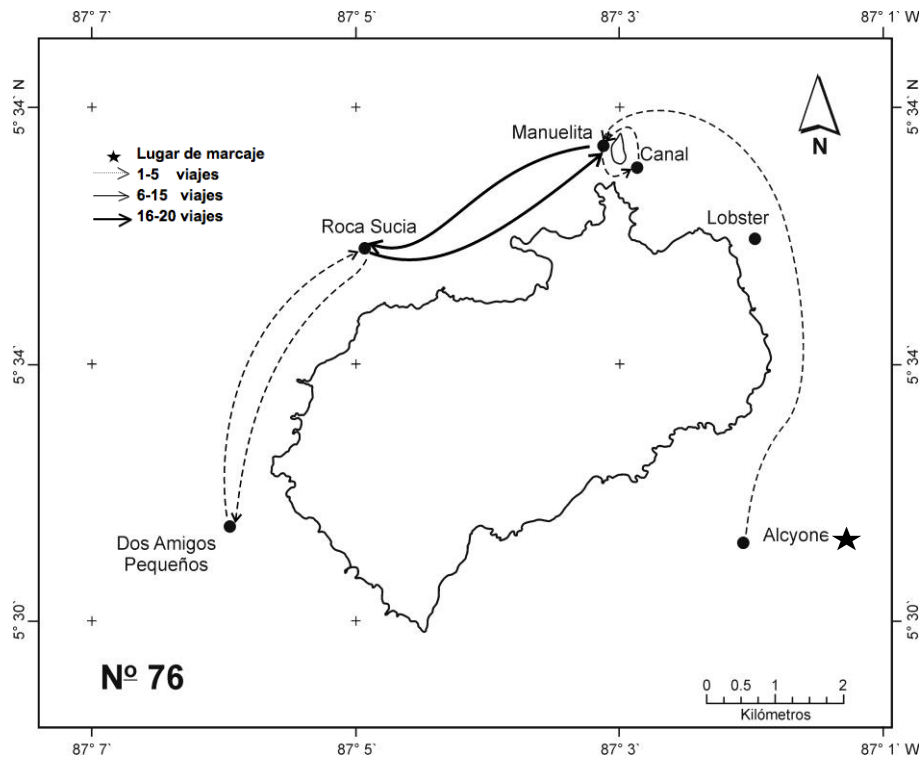
S. lewini 74 (Hembra, 275 cm LT)



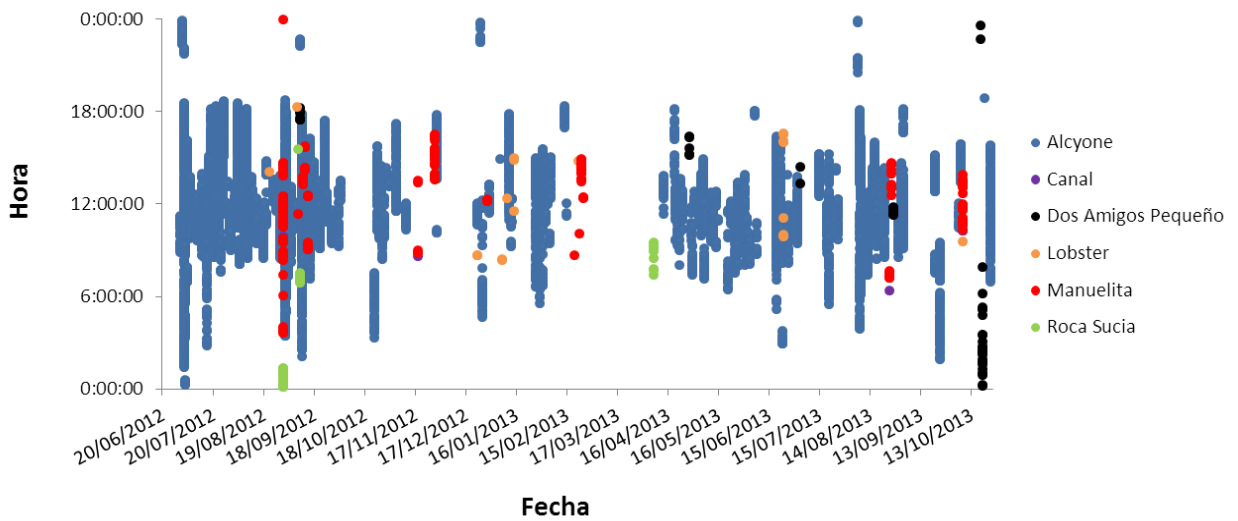
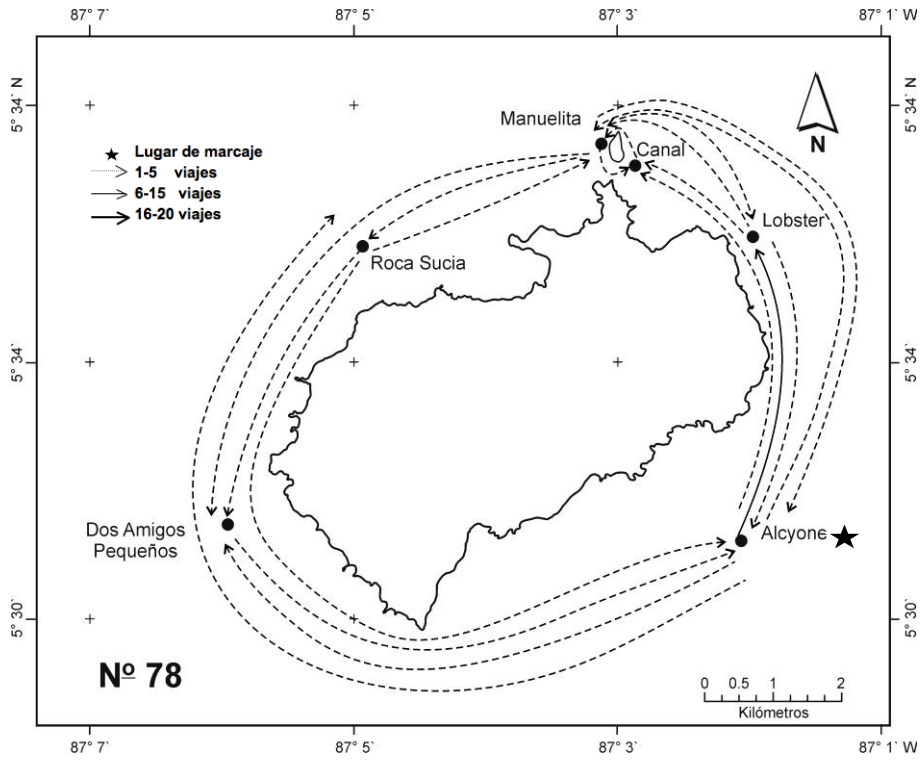
S. lewini 75 (Macho, 200 cm LT)



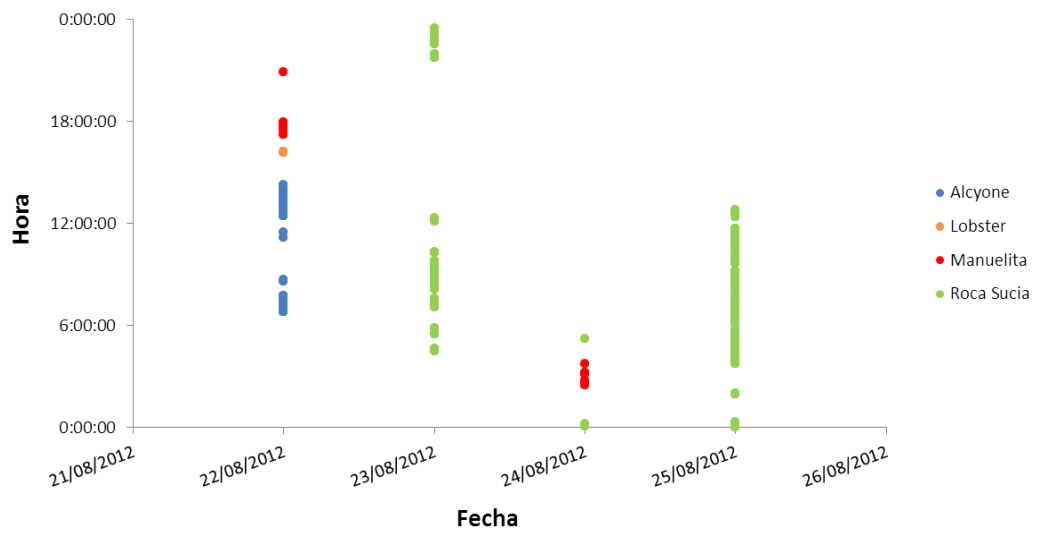
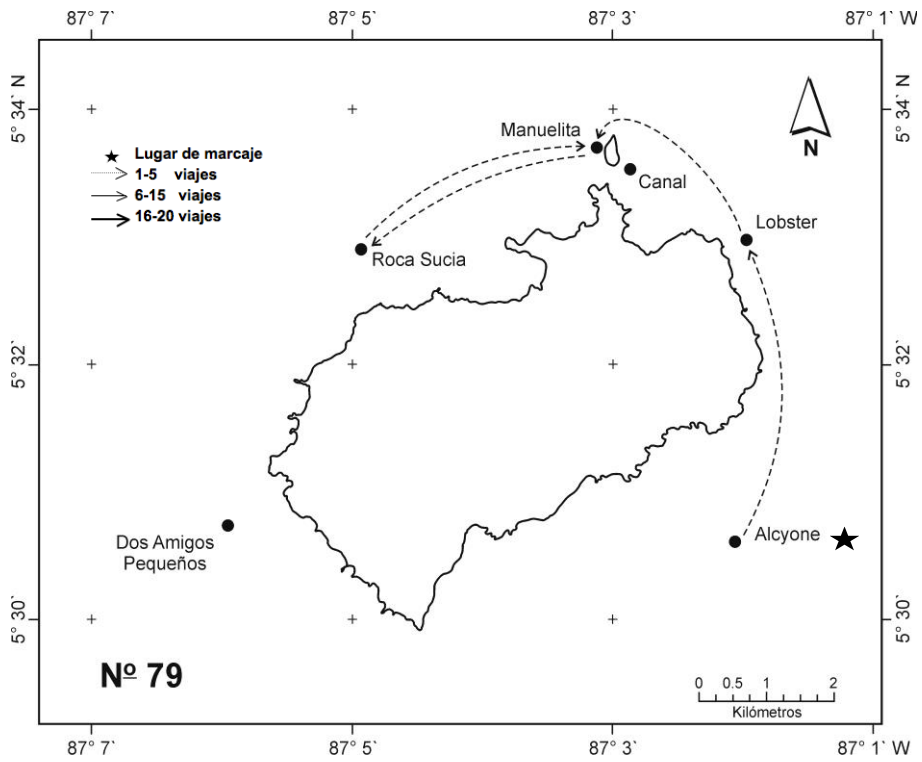
***S. lewini* 76**
(Hembra, 275 cm LT)



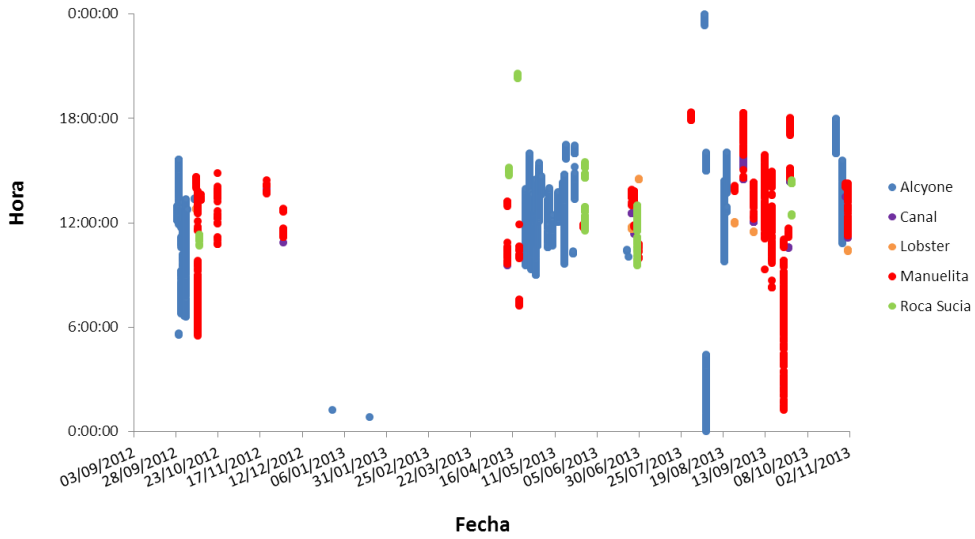
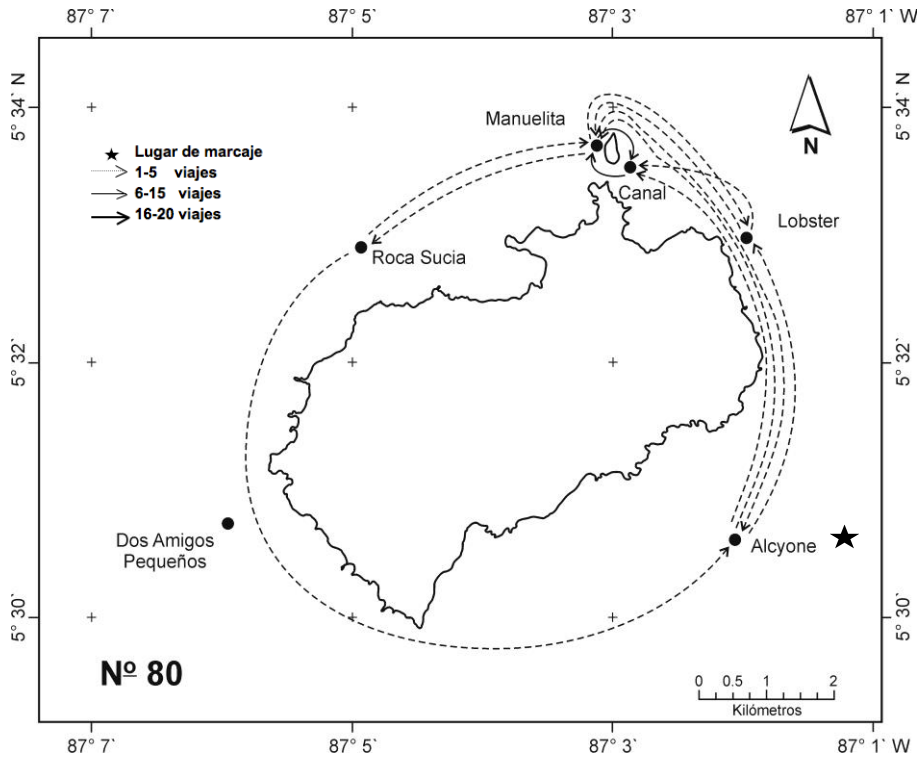
S. lewini 78
(Hembra, 275 cm LT)



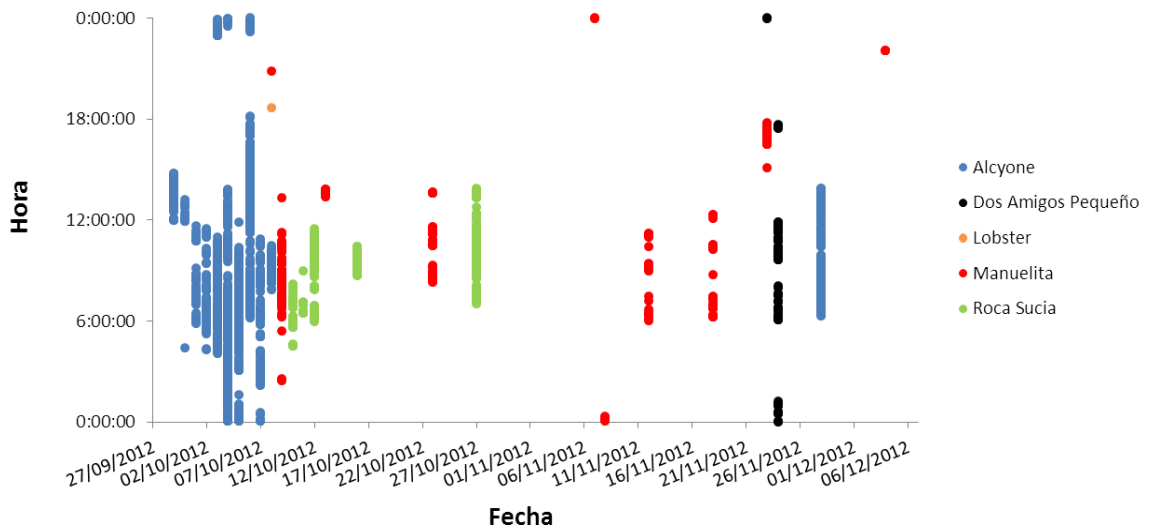
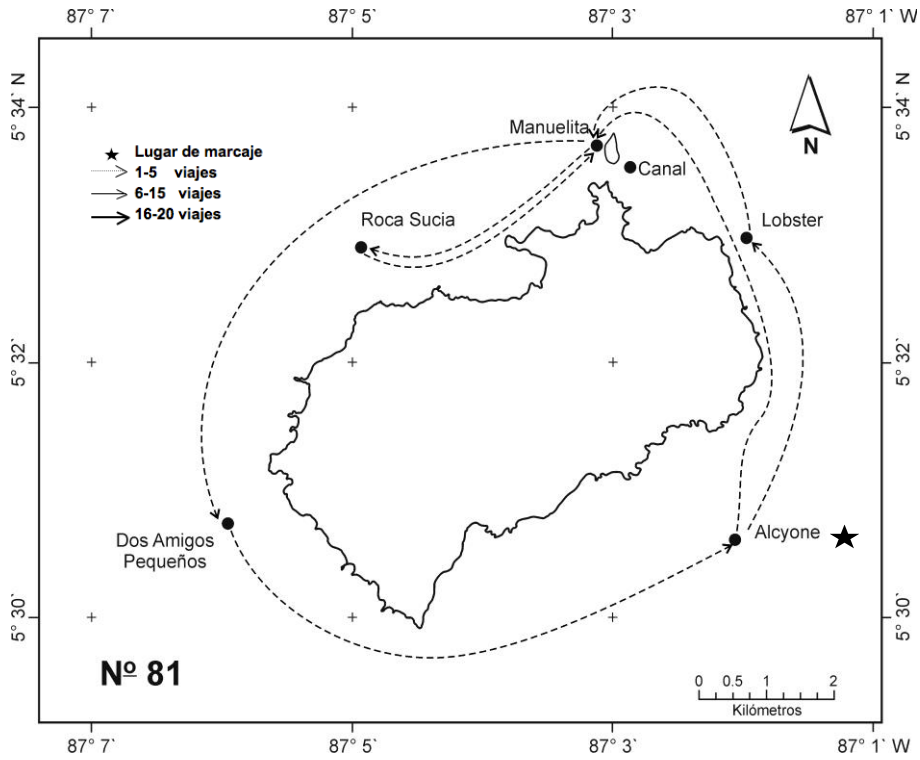
S. lewini 79 (Hembra)



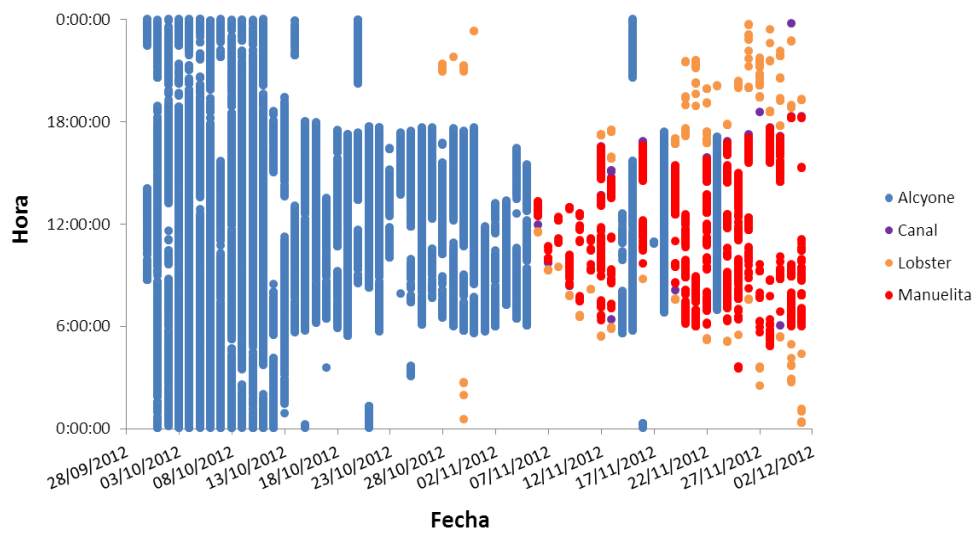
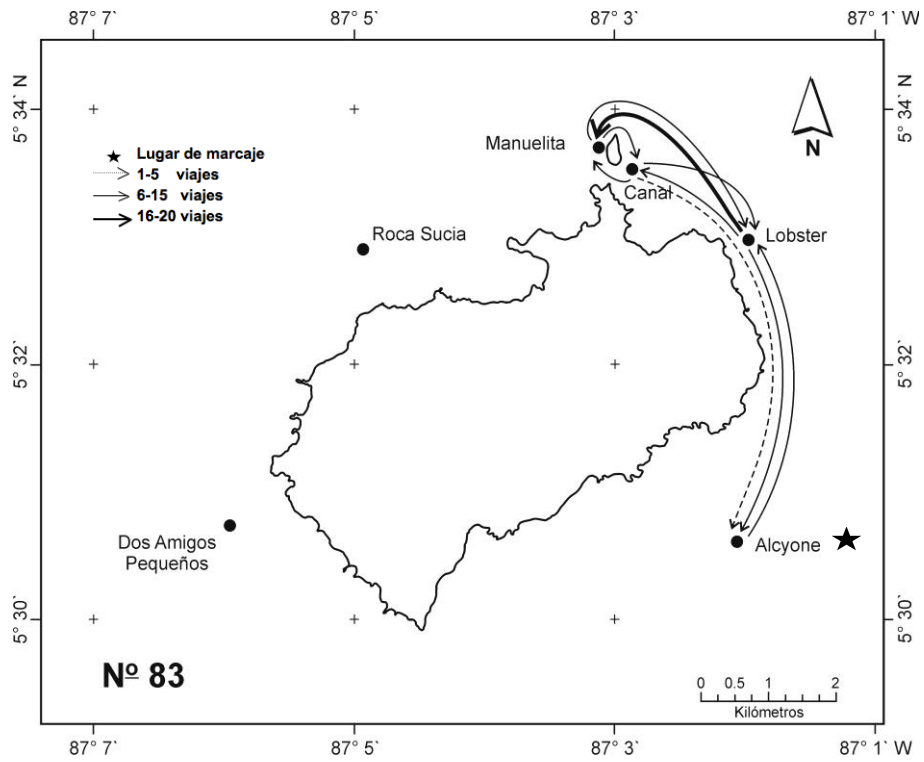
S. lewini 80 (Hembra, 300 cm LT)



***S. lewini* 81**
(Hembra, 300 cm LT)



S. lewini 83
(Hembra)



S. lewini 84 (Hembra)

