

## Tendencias espacio-temporales de los avistamientos de fauna marina en los buceos turísticos (Isla del Coco, Costa Rica)

Jeffrey Alejandro Sibaja-Cordero

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San Pedro, San José, Costa Rica; jeffro@costarricense.cr

Recibido 05-XI-2007. Corregido 18-IV-2008. Aceptado 11-VI-2008.

**Abstract: Spatial-temporal tendencies of marine faunal observations in touristic dives (Isla del Coco, Costa Rica).** Data on several marine species collected over 15 years (1991 to 2007), by dive-masters of the diving company Undersea Hunter, at 27 sites around Isla del Coco (Cocos Island), Pacific Costa Rica, were analyzed. The goal was to create a base line of the pelagic species that live in the waters of the Island based on reports of their activity during tourist dives. A data matrix was generated and multivariate methods used to determine the patterns of temporal and spacial variation. Variability in the occurrence of several species was high between sites. All sites presented a change in the assemblages during the 1991-92 and 1997-98 El Niño events. However, some sites had more influence by this climatic oscillation. El Niño event had stronger repercussion on the abundance and occurrence of particular species. Elasmobranchs such as the scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) and the marbled ray (*Taeniura meyeni*) showed a negative association with anomalous sea surface temperatures. Starting in 2000 there is a decrease in the average abundances and in the presence of the pelagic species, especially for economically important sharks. These variables reach similar values compared to those of El Niño years. A possible explanation is the increase of illegal fishing that took place around the Island or immediate waters. Some of these are species with great mobility. Nevertheless, some species had a small recovery in recent years. A collaborative program between the Government of Costa Rica and MarViva (a non governmental organization) in recent years has resulted in an improvement in the conservation of the marine fauna of Isla del Coco. Rev. Biol. Trop. 56 (Suppl. 2): 113-132. Epub 2008 August 29.

**Key words:** Sharks, cetaceans, Isla del Coco, El Niño, illegal fishing, Costa Rica, Cocos Island, pelagic species.

La Isla del Coco es parte de una cordillera submarina que supera el nivel del mar en ese punto (Lizano 2001). La isla pertenece al Área de Conservación Marina y Terrestre Isla del Coco la cual cubre 24 km<sup>2</sup> de área terrestre y 1997 km<sup>2</sup> de ecosistemas marinos bajo protección. La isla cuenta con varias bahías, puntas e islotes, así como arrecifes coralinos brindando refugio para las especies locales y migratorias, por ejemplo varios tipos de tiburones, rayas y cetáceos. La estacionalidad en la isla se da por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (Alfaro 2008) que también produce que durante la estación lluviosa la isla se vea influenciada por la Contracorriente

Ecuatorial del Norte (Lizano 2008). Dicha zona están influenciada por el evento de El Niño-Oscilación Sureña, que consiste en un calentamiento en las aguas del océano (Garrison 2005, Guzman & Cortés 2007).

En 1991 el área protegida alrededor de la isla pasa de 5 a 15 km; debido a la sobreexplotación de la fauna marina, en especial del tiburón martillo, posteriormente en 2001 pasa a 22.2 km (Lizano 2001, Garrison 2005). Sin embargo, la pesca ilegal en los últimos años ha hecho que se lleve a cabo una vigilancia más intensiva de los recursos marinos costeros. La recuperación después de impactos antropogénicos como extracción de individuos tiende a ser

lenta, debido a la alteración en la proporción de miembros reproductivamente maduros en la población. Esto sucede con los tiburones que tienen un crecimiento lento y una baja fertilidad (Bonilla & Chavarría 2004).

La conservación en los 1997 km<sup>2</sup> de área marina protegida en la isla se lleva a cabo por la colaboración entre el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Seguridad Pública y la Asociación MarViva-Costa Rica (<http://www.marviva.net>); para realizar patrullajes conjuntos. Para medir el éxito en la protección, es necesario tener conocimiento base del comportamiento de las poblaciones de las especies marinas en la Isla del Coco y su reacción ante eventos climáticos.

Por las características de la isla como un ecosistema natural, esta ha sido continuamente visitada por investigadores, turistas y buzos profesionales, llamados en inglés "dive-masters"; estos últimos generalmente a cargo de grupos de buceo turístico. Una de las empresas de buceo con mayor trayectoria en asistir a la isla es Undersea Hunter (<http://www.underseahunter.com>). Los buzos profesionales de dicha empresa han tomado datos sobre las especies, incluyendo especies pelágicas, que observaban en cada inmersión en la isla desde 1991 hasta la actualidad (enero 2007).

Datos de buceo recreativo en el monitoreo de especies marinas han sido empleados con anterioridad, tal es el caso de la organización Reef Environmental Education Foundation (<http://www.reef.org>), donde se reclutan voluntarios para que sigan un protocolo de estimación por cuatro escalas de abundancia. Los datos generados por voluntarios siguiendo este protocolo, son similares a los realizados por expertos cuando el esfuerzo de muestreo se incrementa, según Pattengill-Semmens y Semmens (1998) en su trabajo comparativo en Flower Garden Banks, Texas. Datos de avistamiento de tiburón ballena por botes turísticos, también han sido empleados para detectar tendencias en Ningaloo, Australia (Wilson *et al.* 2001).

En el presente trabajo se presenta las tendencias espacio-temporales de avistamientos de fauna marina tomando en cuenta la presencia y

la abundancia reportada por dive-masters en la Isla del Coco. Además se asocian las variables con las anomalías en la temperatura superficial del mar en la región del Pacífico Central Tropical donde se ubica la Isla del Coco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 735 viajes de buceo a la Isla del Coco en 15 años por parte de la empresa Undersea Hunter, generan una de las series temporales más extensas sobre avistamientos de poblaciones de peces, tortugas, cetáceos e invertebrados para Costa Rica (Fig. 1). Los datos inician en enero de 1991, pero fueron tomados constantemente desde junio de ese año, salvo en 1996 que no fue censado y 1997 donde solo se tiene bitácoras para setiembre. Estas inmersiones las realizaron en un medio que varió en visibilidad bajo el agua entre 50 y 70 m, según las bitácoras. Se visitaron 27 localidades alrededor de la isla (Fig. 2). Con dicha información se generó una matriz de datos que contiene el año, mes, día, inmersión y los datos correspondientes a avistamientos de 19 categorías de fauna marina, en la mayoría de los casos identificados hasta especie (Cuadro 1). Se utilizó el software gratuito PAST (<http://folk.uio.no/ohammer/past>) para realizar los análisis estadísticos.

**Variación temporal:** La matriz principal se transformó en datos de presencia-ausencia y se calculó la proporción del número de inmersiones donde se dio el avistamiento entre el total de buceos para cada mes, entre 1991 a enero del 2007. Si la especie era frecuente de encontrar el valor es cercano a uno y si era de difícil observación el valor tiende a cero. Para determinar tendencias temporales de esta información, se construyeron gráficos de presencia contra tiempo y un Análisis de Componentes Principales para determinar la similitud entre los meses con todas las categorías de fauna en conjunto (Clarke & Warwick 1994).

Para siete categorías de fauna marina: los tiburones martillo (*Sphyrna lewini*) y punta blanca (*Triaenodon obesus*), las dos especies

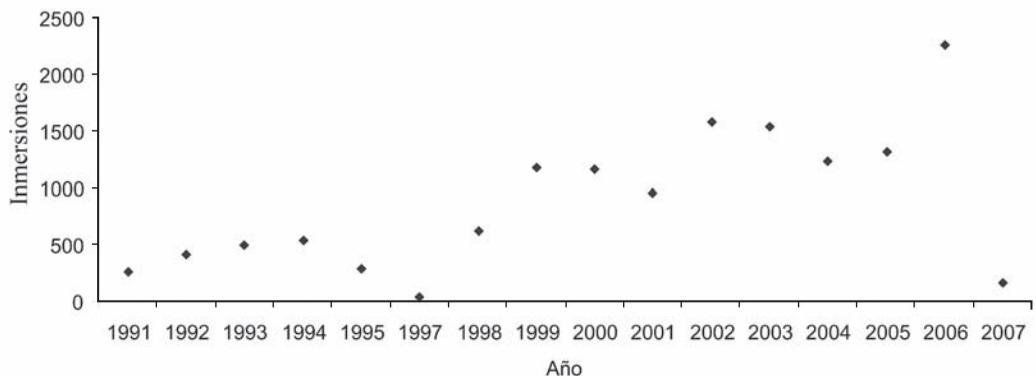


Fig. 1. Número total de buceos (inmersiones) por año. Isla del Coco, Costa Rica.

Fig. 1. Total number of dives (immersions) per year. Cocos Island, Costa Rica.



Fig. 2. Sitios de buceo turístico en la Isla del Coco, Costa Rica.

Fig. 2. Touristic diving sites at Cocos Island, Costa Rica.

CUADRO 1

*Lista de las especies de fauna marina avistadas en la Isla del Coco y analizadas en el presente estudio*

TABLE 1

*List of species of marine fauna observed at Cocos Island and analyzed in this study*

Nombre común (Español)	Nombre común (Inglés)	Nombre científico
*Tiburón martillo, cornuda común	Scalloped hammerhead shark	<i>Sphyrna lewini</i>
*Tiburón cazón coralero o tiburón punta blanca	Whitetip reef shark	<i>Triaenodon obesus</i>
Tiburón puntas blancas	Silvertip shark	<i>Charcharinus albimarginatus</i>
Tiburón piloto o tiburón gris	Silky shark	<i>Carcharhinus falciformis</i>
Tiburón volador o tiburón punta negra	Blacktip shark	<i>Carcharhinus limbatus</i>
*Raya moteada	Marbled ray	<i>Taeniura meyeni</i>
*Raya gavilán pintado	Spotted eagle ray	<i>Aetobatus narinari</i>
*Manta gigante	Giant manta	<i>Manta birostris</i>
*Manta cornuda	Sicklefin devil ray	<i>Mobula tarapacana</i>
Tiburón ballena	Whale shark	<i>Rhincodon typus</i>
Delfines	Dolphins	<i>Tursiops truncatus</i> , <i>Stenella attenuata</i> , <i>Stenella longirostris</i>
Ballena piloto	Pilot whale	<i>Globicephala melaena</i>
Ballena jorobada	Humpback whale	<i>Megaptera novaeangliae</i>
Falsa orca	False killer whale	<i>Pseudorca crassidens</i>
*Tortugas	Turtles	<i>Dermochelys coriacea</i> <i>Lepidochelys olivacea</i> <i>Eretmochelys imbricata</i> <i>Chelonia agassizi</i>
Jureles	Jacks	<i>Caranx</i> spp.
Barracuda	Barracuda	<i>Shyraena idiaestes</i>
Pulpos	Octopus	
Langostas	Lobsters	

\* = Estas especies y las tortugas tienen además datos de abundancia.

\* = These species and the sea turtles have abundance data.

de rayas, dos de mantas y las tortugas, se tenían datos de abundancia por avistamiento desde 1992 hasta el presente. Se graficó los promedios de abundancia por inmersión de cada mes y año. Se debe tener claro que esto es un indicativo de la presencia y no de la abundancia real de la población. También, con los datos transformados ( $\log x+1$ ) para cada categoría de fauna, se hizo un Análisis Múltiple Discriminante para determinar las diferencias entre los años por la abundancia de las siete categorías de fauna.

Además, se graficó las anomalías de la temperatura superficial del mar para la zonas de El Niño 1 y 2, 3, 4 y 3.4 con datos provistos por NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado desde su sitio Web <http://www.cdc.noaa.gov/>. Se asoció el Análisis de Componentes Principales a los datos de anomalías para la zona El Niño 3 por ser la más cercana a la isla y se realizó una prueba de Mantel para asociar la matriz de distancias euclidianas de presencia, abundancia de las categorías de fauna marina y las anomalías. Para cada categoría de fauna se correlaciono por la prueba de Pearson, la abundancia o presencia con los datos de las anomalías para la zona El Niño 3.

**Variación espacial:** Se calculó la proporción de avistamiento de cada una de las 19 categorías de fauna por año por localidad, mediante el índice modificado de Morisita; con esto se realizó un Análisis de Coordenadas Principales para dilucidar la similitud entre los sitios y determinar si los años con los eventos de El Niño más fuertes: 1991-92 o 1997-98, muestran un patrón diferente en cada localidad.

## RESULTADOS

Tomando en cuenta los datos de presencia o ausencia de cada categoría de fauna marina, se obtuvo un promedio de  $3.67 \pm 0.02$  (95% de confianza) categorías de fauna por inmersión, de las 19 registradas lo que representa un total de 52143 observaciones de presencia en 14103 inmersiones. Para los datos que incluían abundancia se obtuvo un promedio avistamientos de

tiburones martillo y punta blanca en conjunto de  $74.7 \pm 2.0$  (95% de confianza) por buceo; para las rayas y mantas fue de  $11.0 \pm 0.2$  (95% de confianza) avistamientos por inmersión en 13754 buceos.

**Variación temporal:** En el Análisis de Componentes Principales (Fig. 3A), se forma una nube de datos (color negro), correspondientes a la mayoría de los meses entre 1993 y el 2004. De este grupo, se apartan al lado derecho del gráfico, 1991 y los seis primeros meses de 1992, en la sección baja del gráfico se ven algunos de 1998, formando otro grupo. Estos meses separados del resto pertenecen a años donde el evento de El Niño fue más marcado. También, menos alejados de la nube de datos en color negro, se ven los primeros meses de 2003, 2004, 2005 y 2006. Al sobreponer los valores de anomalías para la zona El Niño 3 (la más cercana a la Isla del Coco), en el Análisis de Componentes Principales (Fig. 3B), se encontró que los meses apartados de la nube central de datos presentaron un valor por encima del esperado en la temperatura superficial del mar (color del verde al rojo). Con la prueba de Mantel se encontró que cambios en el valor de las anomalías El Niño 3 entre 1991 al 2007 (Fig. 5) están correlacionados con cambios en la composición de las especies censadas ( $r = 0.22$ ,  $p < 0.001$ ).

El año 1992 claramente está alejado del año siguiente (1993) en el Análisis Múltiple Discriminante, donde se ven los centroides de abundancia de las siete especies (Fig. 4). Una situación similar se observa con 1998 que se aparta de 1995 y 1999. Estas diferencias, coinciden con los periodos en que se dio el evento de El Niño. El resto de los años siguen un cambio menor entre uno al otro, pero se ven diferencias entre 1993 y 1995 con los del 2001 al 2005. Una correlación entre la abundancia de estas siete especies con las anomalías El Niño 3 (Fig. 5), también fue detectada por la prueba de Mantel ( $r = 0.32$ ,  $p < 0.001$ ).

La cantidad avistada promedio por viaje para cada mes del tiburón martillo (*S. lewini*) muestra una correlación negativa y leve, pero

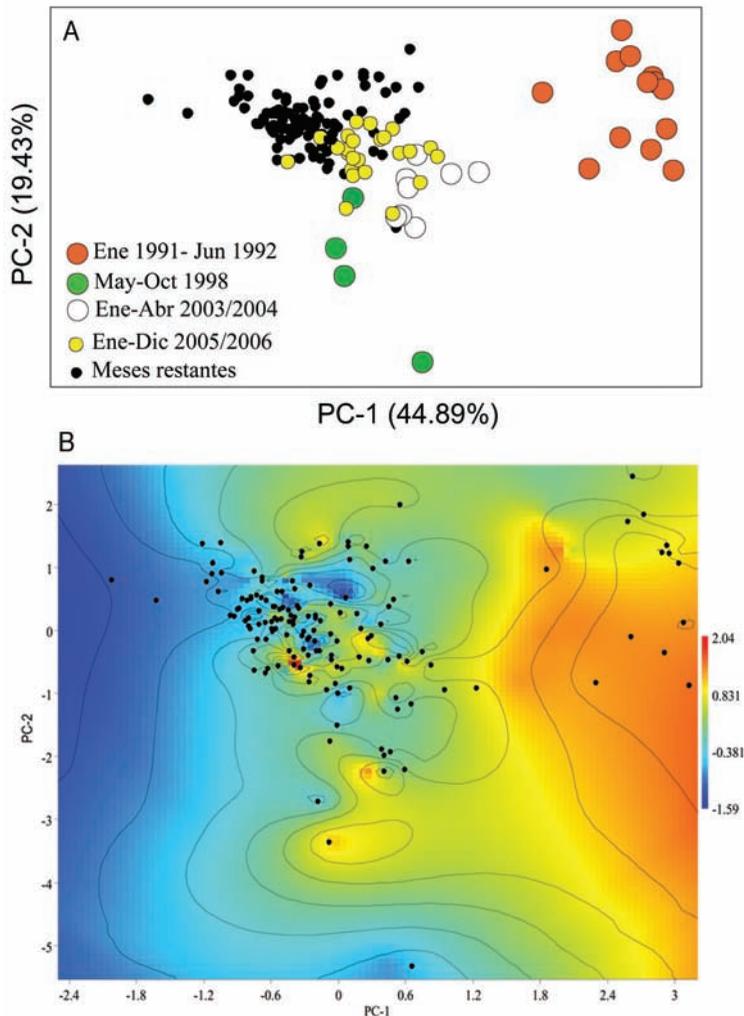


Fig. 3. A: Análisis de Componentes Principales (ACP) mostrando la similitud entre los meses/años en la presencia de 17 especies marinas en buceos turísticos. B: Anomalías de la temperatura superficial del mar para la zona El Niño 3 superpuestas al ACP.

Fig. 3. A: Principal Components Analysis (PCA) showing the similarity between the months/years in the presence of 17 marine species during tourist dives. B: Anomalies in sea surface temperature for the El Niño 3 area in comparison to the PCA.

significativa con las anomalías ( $r = -0.17$ ,  $p = 0.05$ ) (Fig. 6A). El tiburón martillo presenta una estacionalidad aumentando en abundancia a partir de junio y descendiendo cerca de diciembre. El número de avistamientos cae abruptamente en años de El Niño (1992 y 1998). En los años siguientes al 2000, decae a pesar que la actividad de buceo turístico aumento con el tiempo. Estos valores son más

bajos en el 2003. Pero empieza a notarse un incremento en años posteriores.

El tiburón punta blanca (*T. obesus*), no presenta una estacionalidad marcada al ser habitante local de la isla (Fig. 6B), pero si se encontró una correlación negativa con las anomalías ( $r = -0.31$ ,  $p < 0.001$ ). A partir del 2003 el promedio de avistamientos no presenta variaciones marcadas.

El tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis*) declinó desde 1998, incluso con periodos de tres o cuatro meses sin ser visto (Fig. 6C). Su presencia no esta correlacionada con las anomalías ( $r = -0.03$ ,  $p = 0.682$ ). Valores relativamente altos se observaron en el 2004 y 2005. Una menor abundancia se da en los primeros meses de cada año, presentado una aparente estacionalidad.

El tiburón volador (*Carcharhinus limbatus*) tiene una presencia baja entre 2001 a

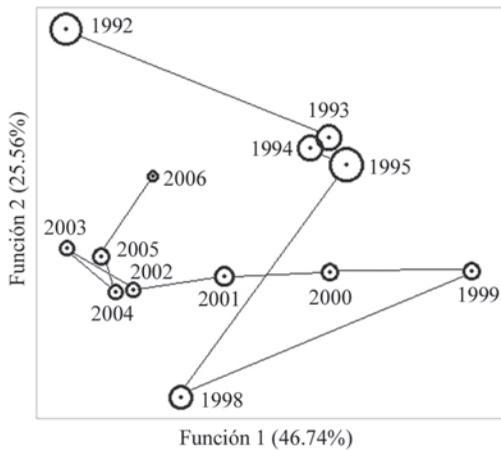
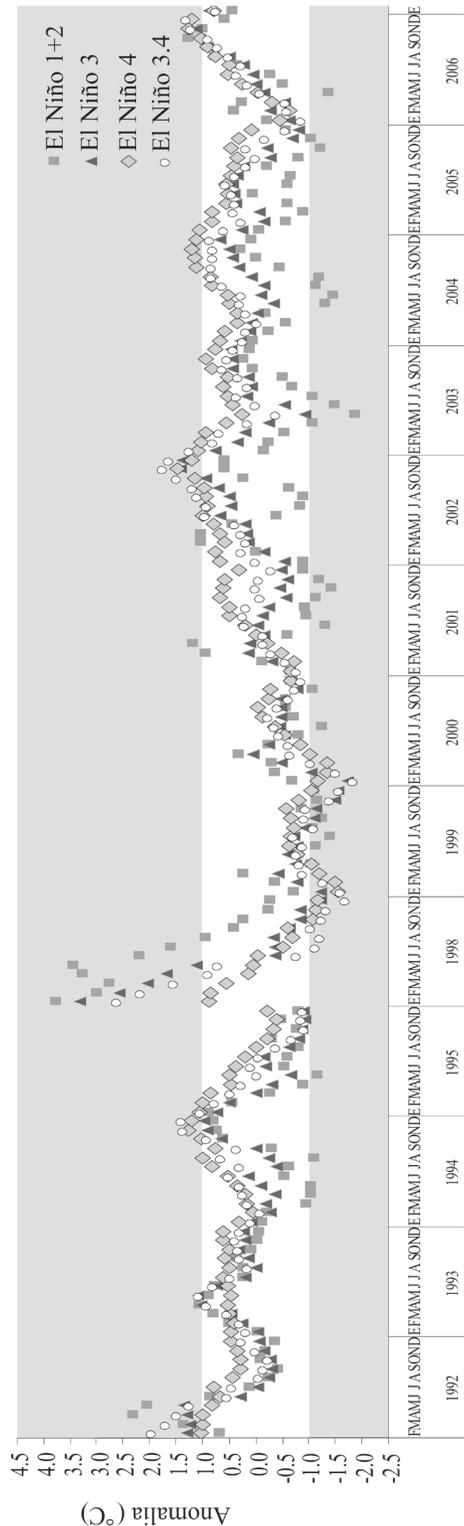


Fig. 4. Análisis Múltiple Discriminante mostrando las diferencias ( $p < 0.001$ ) en la abundancia de avistamientos promedio por año de siete especies (tiburones, rayas y tortugas) de la Isla del Coco, Costa Rica. Los círculos son límites de confianza al 95%.

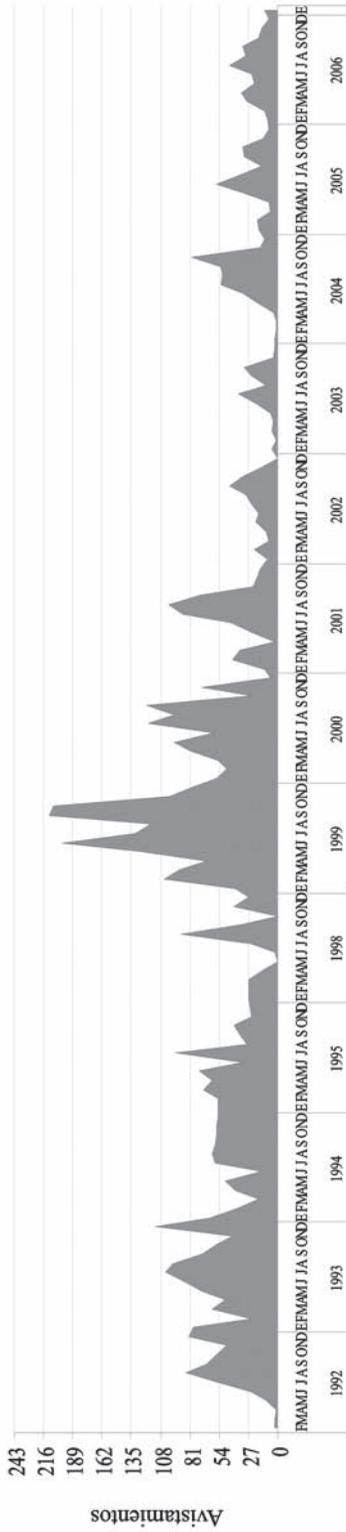
Fig. 4. Multiple Discriminant Analysis showing the differences ( $p < 0.001$ ) in the mean observations abundance per year of seven species (sharks, rays and turtles) at Cocos Island, Costa Rica. The circles are confidence intervals of 95%.

Fig. 5. Anomalías de la temperatura superficial del mar para las zonas de El Niño en el Pacifico Tropical entre 1992-2007. En gris se marcan las anomalías mayores a  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Fuente: NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder, Colorado <http://www.cdc.noaa.gov/>.

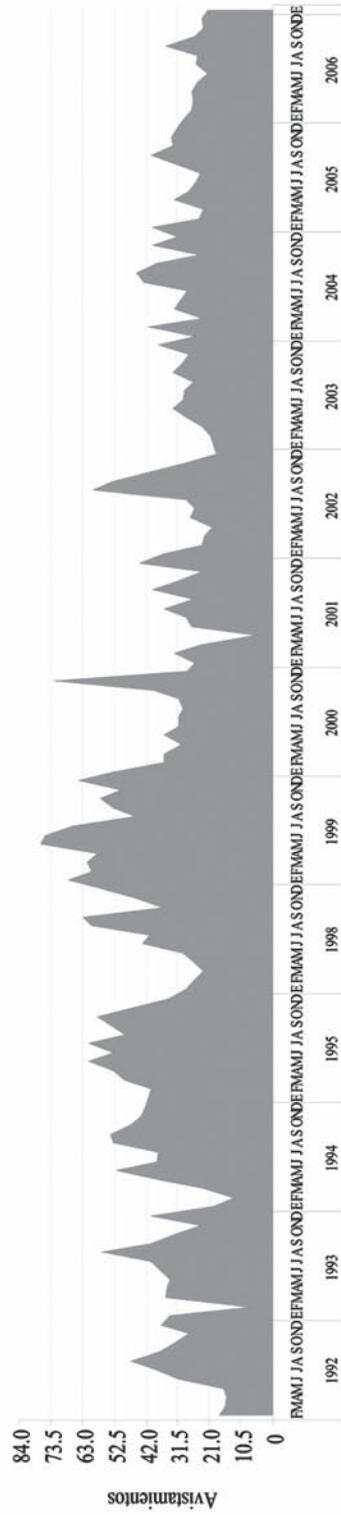
Fig. 5. Anomalies in the sea surface temperature for the El Niño areas in the Tropical Pacific between 1992-2007. Anomalies greater than  $\pm 1^\circ\text{C}$  are marked in gray. Source: NOAA-ESRL Physical Sciences Division, Boulder, Colorado <http://www.cdc.noaa.gov/>.



A



B



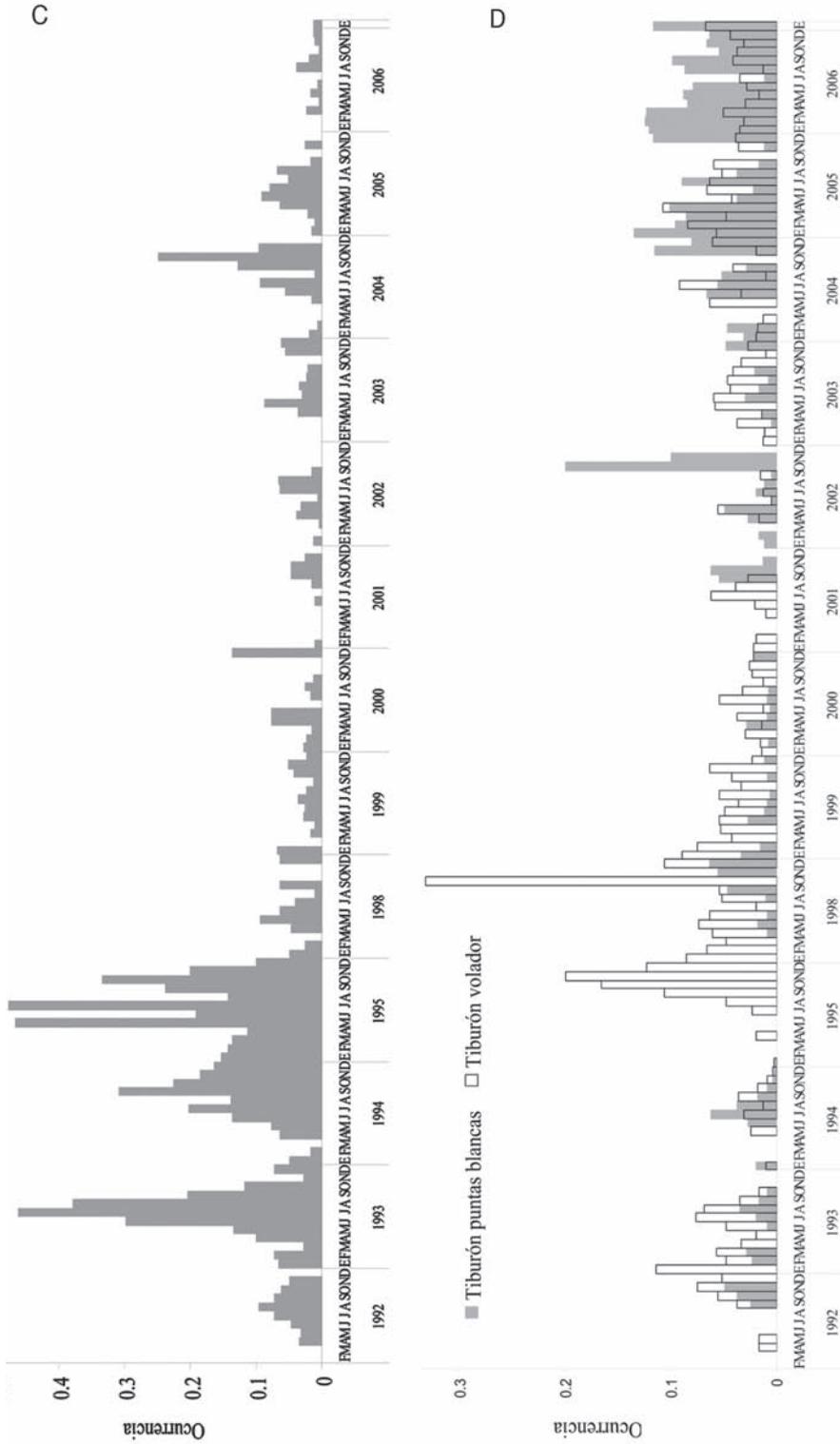


Fig. 6. Serie de tiempo de abundancia para A) tiburón martillo y B) tiburón punta blanca. Serie de presencia para C) tiburón piloto, D) tiburón puntas blancas y tiburón volador, entre 1992-2007. Isla del Coco, Costa Rica.

Fig. 6. Abundance time series for A) hammerhead shark and B) whitetip shark. Presence of C) silky shark, D) silvertip shark and blacktip shark, between 1992-2007. Cocos Island, Costa Rica.

2002, pero posteriormente aumenta llegando a ser tan frecuente como antes (Fig. 6D). No se encuentra una correlación entre su presencia y las anomalías ( $r = 0.15$ ,  $p = 0.073$ ). El tiburón de puntas blancas (*Carcharhinus albimarginatus*) se ha hecho más frecuente en la isla en los últimos años. Su presencia esta correlacionada de manera negativa con las anomalías ( $r = -0.21$ ,  $p = 0.010$ ). El tiburón ballena (*Rhincodon typus*) estuvo ausente en los reportes de 1992 y parte de 1998 (Fig. 9A), sin embargo, no mostró correlación con las anomalías ( $r = -0.09$ ,  $p = 0.288$ ).

La abundancia de la raya moteada (*Taeniura meyeni*) esta inversamente correlacionada a las anomalías ( $r = -0.47$ ,  $p < 0.001$ ). Se encontró bajas en su avistamiento en los puntos de mayor temperatura de mar en 1992, 2003, 2004 y 2005; no se encontró un descenso durante El Niño 1997-98. En los últimos años su abundancia más baja fue en el 2003 (Fig. 7A). Pese a la baja cantidad avistada en la isla, el promedio de la raya gavilán pintado (*Aetobatus narinari*), han venido aumentando lentamente desde el 2001. Tras El Niño 1991-92, su densidad fue extremadamente baja, no así para 1998 (Fig. 7B), y no se encontró correlacionada con las anomalías ( $r = 0.05$ ,  $p = 0.543$ ). Similares patrones de recuperación en los últimos tres años, los mostraron la manta gigante (*Manta birostris*) y la raya cornuda (*Mobula tarapacana*), ambas presentaron bajas en sus densidades en tiempo de El Niño 1991-92 y 1997-98 (Fig. 7C, D), pero con ausencia de correlación con las anomalías ( $r = -0.13$ ,  $p = 0.12$ ).

La presencia de las especies de jureles ha sido constante y relativamente alta (50%) en la isla, solo presentando bajas en 1992 y en la estación seca de 2003 (Fig. 8A). Las mayores fluctuaciones pueden ser explicadas por la correlación negativa con las anomalías ( $r = -0.39$ ,  $p < 0.001$ ). Las barracudas por otro lado muestran un correlación positiva con las anomalías ( $r = 0.18$ ,  $p = 0.029$ ), pero tuvo una presencia muy escasa en los buceos. Las tortugas muestran una estabilidad en su presencia en la isla hasta el 2004 cuando bajaron sus o avistamientos. Parecen también haber sido influenciadas por El Niño 1992 y 1998 (Fig. 8B). Pese

a eso las anomalías no se correlacionan con la abundancia ( $r = -0.02$ ,  $p = 0.815$ ).

Aunque los delfines se acercan comúnmente a los botes en los alrededores de la isla, su observación durante buceos es muy baja (Fig. 9A). La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) se ha presentado en las aguas de la isla entre junio-enero, pero constantemente solamente en julio y agosto de casi todo el periodo estudiado (Fig. 9B). La falsa orca (*Pseudorca crassidens*) y las ballenas piloto (*Globicephala melaena*) son vistas esporádicamente en la isla (Fig. 9B). Ningún cetáceo presenta correlación con las anomalías ( $p > 0.05$ ). Lo mismo aplica para las langostas y pulpos debido a su baja presencia.

**Variación espacial:** En el Análisis de Coordenadas Principales hacia el centro (Fig. 10A), aumenta la presencia de la mayoría de las especies. Se da variación entre los sitios de la isla (Fig. 10A). Por ejemplo las bahías tienen menores probabilidades de avistamiento, al estar el centriode (línea negra en el gráfico) hacia el borde de la figura, comparado con los islotes o los bajos, más hacia el centro de la figura. La sección de Dos Amigos y Bajo Alcyone, es donde la presencia es mayor. La isla Manuelita muestra diferencias entre sus varios hábitats. Los años donde se dio el evento de El Niño 1991-92 (cuadros negros) y 1997-98 (triángulos grises), están hacia el borde de la figura por lo tanto con una baja presencia promedio de las especies. El eje dos del análisis (Fig. 10B) separa principalmente 1991-92 de 1997-98, donde la raya gavilán pintado, la raya moteada, tortugas y jureles se vieron menos en 1991-92 que 1997-98, contrario a la manta gigante y la manta cornuda con menor presencia en 1997-98.

## DISCUSIÓN

Los datos de avistamientos utilizados reflejan una disminución en la presencia o abundancia de varias especies durante los eventos de El Niño 1991-92 o 1997-98, y para meses con anomalías sobre la temperatura normal para

el agua superficial del mar. Casos similares de cambios en las comunidades marinas se han presentado, por ejemplo en Michoacán, México, durante el evento de El Niño 1991-92 que ocurrió en el invierno del norte, el agua se calentó a tal punto que la comunidad de peces se hizo más parecida a la de verano (Madrid *et al.* 1997). En Baja California, la composición de especies de cetáceos cambio durante El Niño, incorporándose especies de aguas cálidas, aparentemente relacionado con variaciones en el zooplancton (Benson *et al.* 2002).

Para las especies en el trópico ese calentamiento por El Niño Oscilación Sureña es mayor al ámbito normal de temperatura y cambia varias de las características del medio y niveles tróficos inferiores. Por ejemplo, los blanqueamientos de coral en el Pacífico Central Oriental tras El Niño 1982-83 (Glynn *et al.* 1988, Guzman & Cortés 1992), la disminución de zooplancton en Golfo Dulce durante El Niño 1997-98 y el descenso de la termoclina (Quesada-Alpízar & Morales-Ramírez 2006), la alta densidad de equinodermos en los arrecifes tras el El Niño 1982-83, que provocaron una mayor mortalidad del remanente de coral vivo, debido a depredación y erosión sobre este (Guzman & Cortés 1992). Con la desaparición de coral puede darse la reducción de varias especies asociadas al arrecife, donde forrajea el tiburón punta blanca o cazón coralero (*T. obesus*) (Compagno 1984). Estos fenómenos ocurren o pueden darse en la Isla del Coco.

El tiburón martillo (especie común) presentó una estacionalidad como la reportada en otras regiones (Sur África) (Compagno 1984). Aunque la movilidad en esta especie no está estudiada en el Pacífico Tropical Oriental, los estudios moleculares mencionan que existe una conectividad alta entre las zonas costeras, pero baja entre la costa y las poblaciones residentes de islas como Hawaii (Duncan *et al.* 2006). Sin embargo, la isla no está tan lejos del continente y al ser parte de una cordillera submarina donde el fondo no cae abismalmente (Lizano 2001), la migración es posible, al ser esta una especie con capacidad de navegación y orientación geomagnética (Duncan *et al.* 2006).

En la Isla del Coco el pico de tiburón martillo se da cuando el agua cálida llega a la isla por la Contra Corriente Ecuatorial del Norte. El pico de abundancia del martillo en las costas de Michoacán, México (15°N) se da en el verano (junio-agosto) cuando el agua superficial del mar estaba más cálida sobre 27°C y baja su abundancia en el invierno con aguas más frías (Madrid *et al.* 1997).

*S. lewini* es catalogada como una especie de mares cálidos de zonas templadas y tropicales, donde es posible encontrarlo entre 0 y 275 metros de profundidad en las costas y zonas insulares (Compagno 1984). Para la Isla del Coco, Garrison (2005) menciona que llega hasta los 50 m y que los cardúmenes son más frecuentes bajo la termoclina. En el estudio de Arauz y Antoniou (2006) varios tiburones martillo marcados en la Isla del Coco, fueron seguidos por transmisión acústica (VEMCO V16 Coded Multi-Purpose Transmitters), hasta una distancia de 500 m, donde la señal se perdía, principalmente durante la noche, lo cual representa una alta movilidad ya sea horizontal o vertical en la columna de agua. En el presente análisis se encontró que es menos avistado cuando las anomalías de temperatura excedieron la temperatura normal en la superficie del mar. Kimley y Nelson (1984) mencionan la capacidad de movimiento en la columna de agua del martillo en Baja California, donde durante el día permanece nadando en montes submarinos cerca de 36 m de profundidad, por la noche nada en aguas alrededor donde puede bajar hasta los 70 m. Posiblemente ante el calentamiento del agua superficial este tiburón logre mantenerse más debajo de la termoclina y de ahí su bajo avistamiento en eventos fuertes de El Niño. La asociación con las anomalías no es tan fuerte para explicar toda la variación observada, ya que el nivel más bajo de avistamiento fue en 2002, y podría ser un indicador de sobre pesca (tema que se discute más adelante).

Por otro lado el tiburón punta blanca (común) no presentó una estacionalidad aparente, pero si estuvo su abundancia asociada a las anomalías. Este tiburón pasa el día en el arrecife pero puede moverse a unos 100 m de



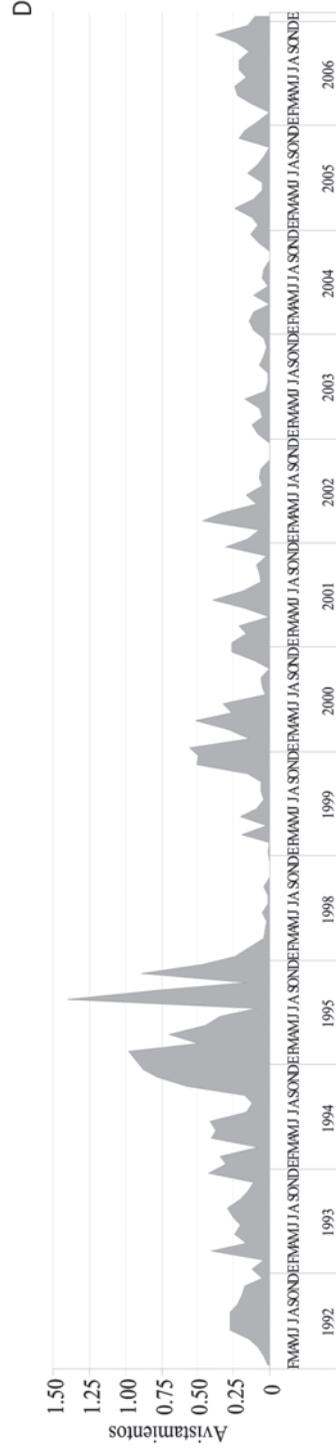


Fig. 7. Serie de tiempo de abundancia para A) la raya moteada, B) gavilán pintado, C) manta gigante y D) manta cornuda, entre 1992-2007. Isla del Coco, Costa Rica.

Fig. 7. A abundance time series for A) marbled ray, B) spotted eagle ray, C) giant manta and C) sicklefin devil ray, between 1992-2007. Cocos Island, Costa Rica.





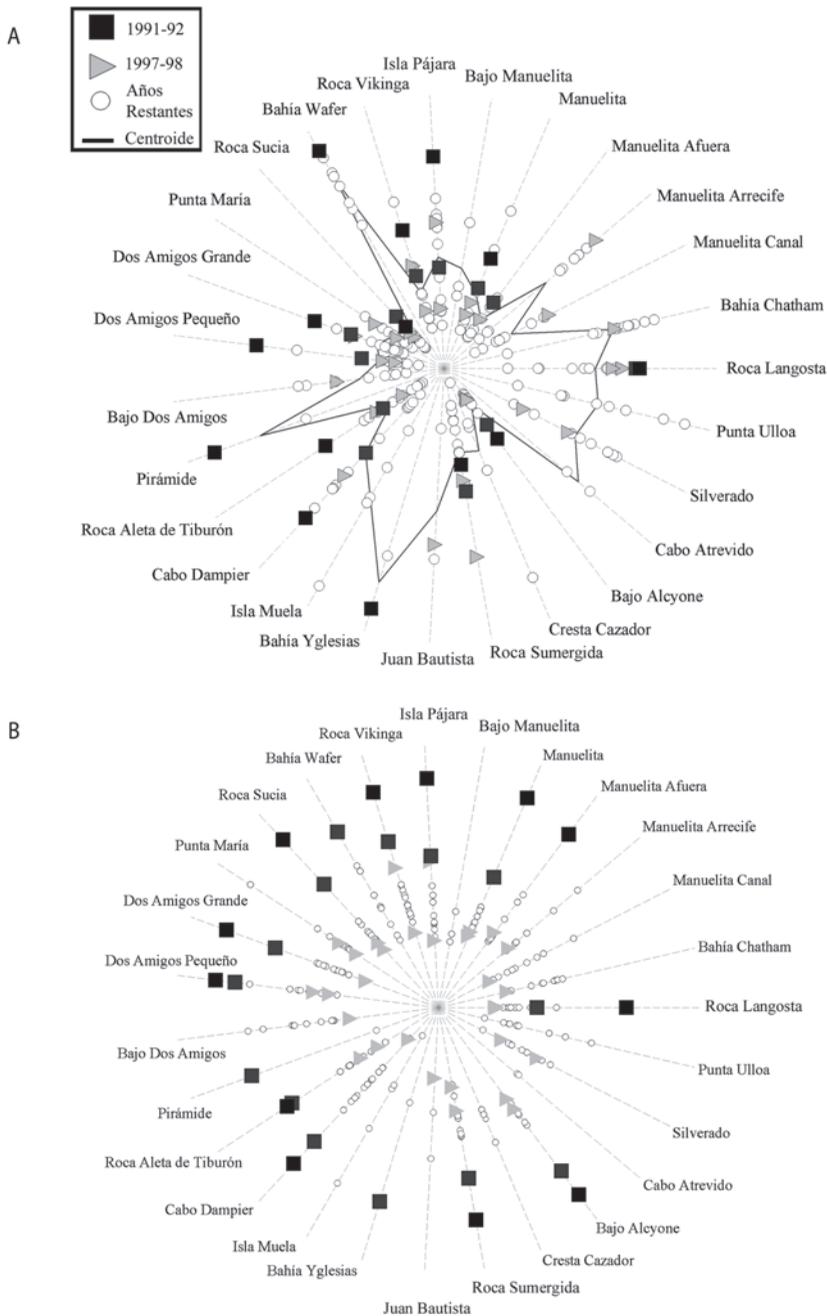


Fig. 10. Análisis de Coordenadas Principales, mostrando la similitud entre sitios y años con El Niño 1991-92 (cuadros negros), El Niño 1997-98 (triángulos grises), y el resto de los años (círculos blancos), respecto a la presencia de 17 grupos de fauna marina de la Isla del Coco, Costa Rica. A: eje 1 (variancia explicada: 28.23%) y B: eje 2 (variancia explicada: 20.40%).

Fig. 10. Principal Coordinates Analysis, showing the similarity between sites and years with El Niño 1991-92 (black squares), El Niño 1997-98 (gray squares), and the rest of the years (white circles), in relation to the presence of 17 groups of marine fauna at Cocos Island, Costa Rica. A: axis 1 (explained variance: 28.23%) and B: axis 2 (explained variance: 20.40%).

profundidad (Compagno 1984). Sus presas son principalmente organismos asociados al arrecife (Garrison 2005) y descensos en épocas de El Niño puede deberse a que deba invertir más tiempo en forrajeo en otros puntos de la isla, permaneciendo poco en el arrecife donde descansa, de ahí los descensos en avistamiento. Se ha registrado que esta especie se desplaza hasta 9 km de sus sitios de residencia, en Australia (Kohler & Turner 2001).

El tiburón piloto o gris, que fue observado ocasionalmente, presentó un decline en su presencia a partir de 1998; al no estar las variaciones asociadas a las anomalías, la explicación puede ser la sobre pesca en sus poblaciones fuera de la isla, al ser más pelágico (Compagno 1984, Garrison 2005). Este tiburón en el Golfo de México sufrió un decline del 91% de su población en la década de los noventas al compararla con la existente a mediados del siglo pasado (Baum & Myers 2004). Además, la biomasa total estimada para el mercado mundial de aletas de tiburón (Clarke *et al.* 2006) es tres veces mayor que la reportada por FAO. En esta estimación se usan datos concernientes al tiburón martillo y piloto entre otros que son utilizados en dicha actividad. Oshitani *et al.* (2003) reportan tallas para el tiburón piloto en estado maduro, menores a dos metros tanto en machos como en hembras, capturados para su estudio por línea de pesca japonesa en la década de los noventas, con edad entre los 5-7 años. Como los autores apuntan, estos resultados son menores a los reportados previamente en otros estudios. Uno de los efectos de la sobre pesca es la reducción en la talla de los organismos, debida a la extracción de los individuos más viejos y grandes de la población (Haedrich & Fischer 1996), tras la cual empieza el decline en las poblaciones; que según la información aquí presentada ya se nota para la Isla del Coco, donde la pesca esta prohibida. Los tiburones representaron un 20% de la biomasa total pescada en Costa Rica entre 1988 a 1997 (Bonilla & Chavarría 2004) y un 16.7% entre 1998 y 2005 (INCOPECA 2006). El tiburón piloto represento un 68.5% de los kilogramos desembarcados en el país en 2004-2005.

De los hechos anteriores, también puede explicarse el descenso en el avistamiento del martillo en los primeros años del presente siglo. La caída en los avistamientos de varios tiburones pelágicos coinciden con el estudio de Arauz *et al.* (2006), donde se muestra el descenso en el éxito de captura de tiburones para el 2002-2003, por la flota de palangre de playas del Coco, Guanacaste que realiza faenas de pesca en gran parte de la zona económica exclusiva. Por otro lado INCOPECA (2006) menciona que la reducción en toneladas de tiburón desembarcada entre 2002 al 2005, se debe al control que evita el desembarque de cuerpos sin aletas.

El tiburón volador, que es poco común, presenta la más baja presencia entre 2001 y 2002, periodo después del cual se ha venido haciendo tan frecuente como antes. Los jóvenes son comunes, en las zonas de bahías de la isla (Garrison 2005), por lo cual la vigilancia de la isla puede ser causante de su restablecimiento, ya que es económicamente importante para la pesquería mundial y atrapado con línea (Compagno 1984, Keeny & Heist 2006). El tiburón puntas blancas también poco común, se ve influenciado por las anomalías, presentando una menor cantidad avistada durante El Niño. Compagno (1984) menciona que este tiburón puede llegar hasta los 800 m de profundidad, por lo cual podría descender ante calentamientos excesivos de aguas superficiales donde los buzos no pueden llegar. Este tiburón prefiere los bordes de la pendiente de arrecifes (Garrison 2005) y pese a no ser una especie blanco de la pesca, puede ser utilizada en las localidades donde se da (Compagno 1984), así incrementos en su presencia indican que la exclusión de pescadores en las aguas del parque esta evitando un descenso de las poblaciones.

Para las especies de rayas la situación es similar a los tiburones. La raya moteada que es reportada como la que puede encontrarse en un ámbito de profundidad hasta 50 m (Garrison 2005) y que utiliza principalmente organismos bentónicos de fondo arenosos para su alimentación, presenta asociación con las anomalías. Por lo tanto y como se propuso anteriormente

para los tiburones podría estar movilizándose a aguas más profundas durante los eventos de sobre calentamiento del agua. Las otras rayas presentaron ausencia en alguno de los eventos El Niño más fuertes. La recuperación de los arrecifes en cobertura, así como de los organismos asociados y la ausencia de pesca cerca de la costa; pueden ser causas del aumento de avistamiento de las rayas para los últimos años.

En Australia, los tiburones ballena parecen estar asociados a eventos oceanográficos en la zona del arrecife de Ningaloo. Siendo aparentemente más abundantes durante La Niña (Wilson *et al.* 2001). Para la isla solo hay evidencia de ausencia durante eventos El Niño muy fuertes, pero cuando este tiburón estuvo presente no mostró variaciones con las anomalías. Colman (1997) menciona que en las islas Galápagos la presencia de estos tiburones es predecible y que grupos pueden ser vistos en aguas influenciadas por afloramientos, con temperaturas entre 23.5 a 26.5 °C. Compagno (1984) indica que prefiere regiones geográficas con aguas superficiales entre los 21 a 25°C con zonas de aguas frías de afloramiento. En la Isla del Coco este tiburón es poco avistado (Garrison 2005). Tal vez, las aguas de la isla no sean lo suficientemente frías y de hecho, son sumamente cálidas durante El Niño, lo cual solo permite que se de un avistamiento esporádico. Por su gran movilidad también pueden llegar a la isla individuos de poblaciones lejanas, como los del Mar de Cortez que nadan por el Pacífico Tropical Central, incluso años (Wilson *et al.* 2001), por lo cual la presencia tampoco correlaciona con las anomalías.

La presencia de ballenas jorobadas para la segunda parte de cada año, parece indicar que las que visitan la isla provienen de las migraciones de la península de la Antártica, para tener y criar descendencia entre junio y octubre (May-Collado *et al.* 2005). En las afueras de la Isla del Coco (1 km) se han reportado pero durante la temporada que corresponde a llegada de las jorobadas del hemisferio norte (enero a abril) (Acevedo & Smultea 1995, May-Collado *et al.* 2005). En enero de 1995 y en febrero de 2002, ballenas jorobadas tam-

bién fueron avistadas por los buzos, las cuales posiblemente sean provenientes del hemisferio Norte. Acevedo y Smultea (1995) sugieren que una observación de una madre y su cría realizada en agosto de 1992, sea posiblemente de la población del sur que llega a Colombia y Panamá. Esta observación en 1992, coincide con las presentadas en el presente estudio para ese mismo año. Además, 1994-95 puede representar un evento en que las poblaciones de ambos hemisferios coincidieron en la isla, como lo sugieren Acevedo y Smultea (1995).

Los delfines no presentaron variación con las anomalías en la temperatura superficial del mar. La isla es un sitio apto durante todo el año para alimentación y reproducción de la especie *Tursiops truncatus* (May-Collado *et al.* 2005), lo cual puede explicar la carencia de asociación, y el hecho que los delfines son más frecuentes de observar fuera de los sitios de buceo.

Además, se encontró que el efecto en las diferentes localidades de la isla, ante las variaciones climáticas marcadas es similar. Posiblemente al verse afectado el arrecife y o sus especies asociadas (invertebrados y peces), así, tal vez los grandes pelágicos deben movilizarse un poco más profundo en busca de alimento. Lo anterior puede verse apoyado en el hecho que los bajos presentan mayores avistamientos que las bahías en años de El Niño fuertes (1991-92, 1997-98), debido a ser lugares más profundos, donde las especies no deben bajar tanto en la columna de agua. Los tiburones martillo de la Isla del Coco, mientras se encuentran en la isla, parecen ser más fieles a permanecer o volver a sitios como Roca Sucia, Bajo Alcyone; sitios que en el presente estudio mostraron alta probabilidad de avistamiento. Los tiburones que se ubicaron en isla Manuelita presentaron menor fidelidad (Arauz & Antoniou 2006). Si el comportamiento de preferir bajos se incrementa o se presenta en otras especies en años de El Niño, puede explicar las variaciones encontradas en el presente estudio.

Eventualmente los datos de los buzos, podrían seguir usándose como una estimación semicuantitativa de la cantidad de estas especies pelágicas en la Isla del Coco. Pero más

importante, es la generación de patrones que pueden utilizarse como hipótesis a ser probadas en futuras investigaciones. Principalmente, la movilidad horizontal y vertical de individuos de las especies en los diferentes escenarios de El Niño-Oscilación Sureña, se recomienda utilizar diferentes técnicas para tener una mayor descripción de la dinámica diaria en la isla.

El área protegida parece ser eficiente en la protección de las especies de tiburones que se crían en las aguas vigiladas, sin embargo, especies más pelágicas presentaron una baja crítica después del año 2000. Pese a esto el programa de vigilancia en la isla por parte del Gobierno y MarViva, coincide con una leve recuperación de los avistamientos. Las especies parecen refugiarse en aguas más profundas durante periodos de calentamiento.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Michael Rothschild, Daniel Roller, Francisco Estrada, Mónica Naranjo, Luis Rólier Lara, Anabel Quirós, Nicola Ghersinich, Alan Steenstrup y Jorge Cortés por los comentarios, observaciones y ayuda que me brindaron durante la elaboración de este análisis y de las ideas presentadas. Agradezco a la empresa de buceo Undersea Hunter, el acceso a sus datos, su esfuerzo y su constancia al registrarlos. Agradezco a la Asociación MarViva de Costa Rica por impulsar la generación de informes sobre los datos que se presentan en este artículo.

#### RESUMEN

Se analizaron datos recolectados en un periodo de 15 años (1991 al 2007), por buzos profesionales de la empresa Undersea Hunter, en 27 localidades alrededor de la isla del Coco. El propósito fue crear un marco de referencia sobre el comportamiento de las especies pelágicas que habitan las aguas de la isla, reportadas en la actividad de buceo turístico. Para obtener los patrones de variación temporal y espacial en la isla se generó una matriz de datos, que fue analizada por métodos de estadística multivariable. La Isla del Coco tiene una gran variabilidad de un lugar a otro en la presencia de las especies, pero todas las localidades reaccionan de manera parecida ante los eventos de El Niño. El Niño tiene repercusión sobre la presencia y abundancia

de especies particulares, por ejemplo, el tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) y la raya moteada (*Taeniura meyeni*), disminuyen durante El Niño. A partir del 2000 se dio una disminución en los promedios de abundancia y en la presencia de las especies pelágicas, especialmente de los tiburones de interés comercial. Estas variables alcanzan valores similares a los años de El Niño. Una posible causa es la pesca ilegal, que se estuvo dando en la isla y proximidades, donde se encuentran también las especies con gran movilidad. Pese a esto, en algunas especies se nota una leve recuperación en años recientes. El programa de colaboración de vigilancia conjunto entre el Gobierno de Costa Rica y MarViva (una Organización No-Gubernamental) han mejorado la conservación marina del Parque Nacional Isla del Coco.

**Palabras clave:** Tiburones, cetáceos, El Niño, Isla del Coco, pesca ilegal, Costa Rica, especies pelágicas

#### REFERENCIAS

- Acevedo, A. & Smultea M.A. 1995. First records of humpback whales including calves at Golfo Dulce and Isla del Coco, Costa Rica, suggesting geographical overlap of northern and southern hemisphere populations. *Mar. Mamm. Sci.* 11:554-560
- Alfaro, E.J. 2008. Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Supl. 2): 19-29.
- Arauz, R. & A. Antoniou. 2006. Preliminary results: movement of scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) tagged in Cocos Island National Park, Costa Rica, 2005. Pp. 8-9. In: R. Rojas & I. Zanella (eds.). Memoria: Primer Seminario Taller sobre el estado del conocimiento de la Condrictiofauna de Costa Rica. INBio, Santo Domingo, Heredia, Costa Rica.
- Arauz, R., A. López, J. Ballesteros & A. Bolaños. 2006. Estimación de la abundancia relativa de tiburones en el Zona Económica Exclusiva de Costa Rica a partir de observaciones a bordo de la flota de palangre de Playas del Coco, Guanacaste, Costa Rica. Pp. 10-12. In: R. Rojas & I. Zanella (eds.). Memoria: Primer Seminario Taller sobre el estado del conocimiento de la Condrictiofauna de Costa Rica. INBio, Santo Domingo, Heredia, Costa Rica.
- Baum, J.K. & R.A. Myers. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecol. Lett.* 7: 135-145
- Benson, S.R., D.A. Croll, B.B. Marinovic, F.P. Chavez & J.T. Harvey. 2002. Changes in the cetacean assemblage of a coastal upwelling ecosystem during El Niño 1997-98 and La Niña 1999. *Progr. Oceanogr.* 54: 279-291.

- Bonilla, R. & J.B. Chavarría. 2004. Box-Jenkins analysis for shark landings in Costa Rica. *Rev. Biol.Trop.* 52 (Suppl. 2): 183-188.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Natural Environmental Research Council, Reino Unido. 144 p.
- Clarke, S.C., M.K. McAllister, E. J. Milner-Gulland, G. P. Kirkwood, C.G.J. Michielsens, D.J. Agnew, E.K. Pikitch, H. Nakano & M.S. Shivji. 2006. Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. *Ecol. Lett.* 9: 1115-1126.
- Colman, J. G. 1997. A review of the biology and ecology of the whale shark. *J. Fish Biol.* 51: 1219-1234.
- Compagno, L.J.V. 1984. FAO Species Catalogue, 4. Sharks of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date Part 2 – Carcharhiniformes. FAO Fish. Synopsis No. 125. FAO. Roma, Italia. 675 p.
- Duncan, K.M. A.P. Martín, B.W. Bowen & H.G. De Couet. 2006. Global phylogeography of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *Mol. Ecol.* 15: 2239-2251.
- Garrison, G. 2005. Peces de la Isla del Coco/Isla del Coco Fishes, 2nd ed. Edit. INBio, Heredia, Costa Rica. 429 p.
- Glynn, P.W., J. Cortés, H. Guzman & R.H. Richmond. 1988. El Niño (1982-1983) associated coral mortality in relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp.*, Australia 3: 237-243.
- Guzman, H.M. & J. Cortés. 1992. Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-83 El Niño disturbance. *Rev. Biol. Trop.* 40: 309-324.
- Guzman, H.M. & J. Cortés. 2007. Reef recovery 20-yr after the 1982-83 El Niño massive mortality. *Mar. Biol.* 151: 401-411.
- Haedrich, R.L. & J. Fischer. 1996. Stability and changes of exploited fish communities in a cold ocean continental shelf ecosystem. *Senckenb. marit.* 27: 237-243.
- INCOPESCA. 2006. Memoria Institucional 2002-2006: Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura. Imprenta Nacional, San José, Costa Rica
- Keeny, D.B. & E.J. Heist. 2006. Worldwide phylogeography of the blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*) inferred from mitochondrial DNA reveals isolation of western Atlantic populations coupled with recent Pacific dispersal. *Mol. Ecol.* 15: 3669-3679.
- Kimley, A.P. & D.R. Nelson. 1984. Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: A refuging central-position social system. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 15: 45-54.
- Kohler, N.E & P.A. Turner. 2001. Shark tagging a review of conventional methods and studies. *Environm. Biol. Fish.* 60: 191-223.
- Lizano, O.G. 2001. Batimetría de la plataforma insular alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev.Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 163-170.
- Lizano, O.G. 2008. Algunas características dinámicas de las aguas alrededor de la Isla del Coco de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Supl. 2): 31-48.
- Madrid, J., P. Sánchez & A.A. Ruiz. 1997. Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacán, México. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 45: 485-495.
- May-Collado, L., T. Gerrodette, J. Calambokidis, K. Rasmussen & I. Sereg. 2005. Patterns of cetacean sighting distribution in the Pacific Exclusive Economic Zone of Costa Rica based on data collected from 1979-2001. *Rev. Biol. Trop.* 53: 249-263.
- Oshitani, S., H. Nakano & S. Tanaka. 2003. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fish. Sci.* 69: 456-464.
- Pattengill-Semmens, C.V. & B.X. Semmens. 1998. Fish census data generated by non-experts in the Flower Garden Banks National Marine Sanctuary J. *Gulf Mex. Sci.* 2: 196-207.
- Quesada-Alpizar, M.A. & A. Morales-Ramírez. 2006. Posible efecto de El Niño en el zooplancton no gelatinoso del Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica, 1997-1998. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 225-240.
- Wilson, S.G., J.G. Taylor & A.F. Pearce. 2001. The seasonal aggregation of Whale Sharks at Ningaloo Reef, Western Australia: Currents, migrations and the El Niño/Southern Oscillation. *Environm. Biol. Fish.* 61: 1573-5133.