

**DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS HORIZONTALES
Y VERTICALES DEL TIBURON MARTILLO *Sphyrna lewini*,
DEL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MEXICO**

**HORIZONTAL AND VERTICAL MOVEMENTS OF
THE SCALLOPED HAMMERHEAD SHARK, *Sphyrna lewini*,
IN THE SOUTHERN GULF OF CALIFORNIA, MEXICO**

A. Peter Klimley¹
Ismael Cabrera-Mancilla²
José L. Castillo-Geniz³

¹ Bodega Marine Laboratory
University of California, Davis
P.O. Box 247
Bodega Bay, California, USA

² Secretaría de Marina
Dirección General de Oceanografía Naval
Edificio B, planta baja
Calle Cap. Frag. Pedro S. de Baranda y Borreyro
Col. Los Cipreses
04830 México, D.F.

³ Instituto Nacional de la Pesca
Programa Tiburón
Chilpancingo #70, Col. Hipódromo Condesa
06170 México, D.F.

Recibido en enero de 1992; aceptado en julio de 1992

RESUMEN

Se proporciona una descripción de los movimientos horizontales y verticales de cuatro tiburones martillo (*Sphyrna lewini*) marcados con transmisores ultrasónicos. El estudio se llevó a cabo en aguas pelágicas que rodean el Bajo Espíritu Santo y la Isla Las Animas, ubicados en el sur del Golfo de California, durante los meses de agosto de 1986, agosto de 1988 y julio y agosto de 1989. Se observó que los tiburones se mantuvieron generalmente sobre el bajo durante el día. Se realizaron quince seguimientos telemétricos de los movimientos de salida y regreso (*homing*) al bajo. De estos rastreos, trece se llevaron a cabo hacia la región pelágica durante la noche y dos de día. El intervalo de distancia máxima alcanzada fue de 4 a 20 km. Algunos movimientos de salida y regreso fueron próximos y paralelos uno del otro, lo que sugiere que estos tiburones tienen rutas designadas para visitar sus sitios preferenciales de alimento. Los tiburones presentaron movimientos verticales, ascendentes y descendentes (similares a la trayectoria de un yoyo). El intervalo de profundidad de las inmersiones observadas fue de 50 a 450 m. Los movimientos verticales se llevaron a cabo generalmente por debajo de la capa mixta superficial y por encima del fondo marino. Las diferencias de las temperaturas del agua (2° a 6°C) en que se desplazaron los tiburones durante sus excursiones verticales fueron pequeñas en relación con las observadas en otras especies de peces, lo que sugiere que para el tiburón martillo la función de dichas excursiones no es de termorregulación.

ABSTRACT

Horizontal and vertical movements are described for four scalloped hammerhead sharks (*Sphyma lewini*) tagged with ultrasonic transmitters. The trackings were carried out during August 1986, 1988-1989, and July 1989 in the pelagic environment surrounding Espíritu Santo Seamount and Las Animas Island in the southern Gulf of California. The hammerheads generally remained above the seamount and near the island during the day. Fifteen sharks were tracked during homing movements away from and back to the seamount. Of the excursions, 13 were made into the pelagic region during the night and two during the day. The maximum distance moved away from the seamount ranged from 4 to 20 km. Departure and return movements were at times close to and parallel to each other, suggesting that the sharks followed particular routes to preferred feeding sites. The sharks made vertical excursions, ascending and descending in the water column (in yo-yo form). The diving oscillations occurred between 50 to 450 m. These vertical movements were usually below the surface mixed layer and well away from the bottom. The range in water temperatures (2°-6°C) encountered during these vertical excursions was small in relation to that reported for other species of fishes, suggesting that for this species the function of the excursions may not be thermoregulation.

INTRODUCCION

Un comportamiento social común observado en el reino animal es el de reunirse en grupos dentro de un área pequeña durante la fase inactiva del ciclo diario, y dispersarse luego durante la fase activa hacia áreas circunvecinas (Hamilton y Watt, 1970). Tal comportamiento es común en las familias de peces óseos, Atherinidae, Carangidae, Lutjanidae y Mullidae, Pomadasydae y Sciaenidae (Hobson, 1973), y en las familias de los tiburones, Carcharhidae y Heterodontidae (Johnson, 1978; McLaughlin y O'Gower, 1971; Randall, 1977). Esta conducta es característica del tiburón martillo o cornuda (*Sphyma lewini* Griffith y Smith, 1834), la especie que es más común en verano de las once capturadas usualmente por medio de palangres y redes en el Golfo de California Sur (Galván-Magaña *et al.*, 1989). Se han observado cardúmenes de pez martillo durante las horas del día en los bajos e islas del Golfo de California (Klimley y Nelson, 1981; Klimley y Brown, 1983; Klimley, 1985). Los movimientos individuales de las cornudas en el Bajo Espíritu Santo se han seguido por telemetría ultrasónica (Klimley y Nelson, 1984). La presencia de grupos de tiburones, con individuos marcados con transmisores ultrasónicos, ha sido detectada durante el día por monitores automáticos colocados en el mismo bajo (Klimley *et al.*, 1988). Sin embargo, estos mismos individuos no fueron detectados después de la puesta del sol. El análisis de los contenidos estomacales de las cornudas indica que éstas se dirigen hacia la región pelágica

INTRODUCTION

A common social behaviour observed in the animal kingdom is that of assembling in groups within a small area during the inactive phase of the daily cycle and dispersing toward adjacent areas during the active phase (Hamilton and Watt, 1970). This behaviour is common in bony fish families, Atherinidae, Carangidae, Lutjanidae, Mullidae, Pomadasydae and Sciaenidae (Hobson, 1973), and in shark families, Carcharhidae and Heterodontidae (Johnson, 1978; McLaughlin and O'Gower, 1971; Randall, 1977). It is a characteristic behaviour of the scalloped hammerhead shark (*Sphyma lewini* Griffith and Smith, 1834), the most common species in summer of the 11 usually caught with longlines or nets in the southern Gulf of California (Galván-Magaña *et al.*, 1989). Schools of hammerhead fish have been observed during daylight hours around seamounts and islands in the Gulf of California (Klimley and Nelson, 1981; Klimley and Brown, 1983; Klimley, 1985). Movements of individual scalloped hammerheads at Espíritu Santo Seamount have been tracked by ultrasonic telemetry (Klimley and Nelson, 1984). The presence of groups of sharks, with individuals tagged with ultrasonic transmitters, has been detected during the day by automatic monitors located at this seamount (Klimley *et al.*, 1988). However, these individuals were not detected after sunset. Analyses of the stomach contents of scalloped hammerheads have shown that they swim to pelagic regions to feed (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989). The

para alimentarse (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989). El presente estudio proporciona una descripción de los movimientos horizontales y verticales del tiburón martillo en las aguas pelágicas que rodean el Bajo Espíritu Santo (EBES) y la Isla Las Animas (LA).

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio: La investigación se llevó a cabo en el Bajo Espíritu Santo (EBES; 24°41' N; 110°16' O) y la Isla Las Animas (LA; 25°06' N; 110°31' O), en el sur del Golfo de California (Fig. 1). Se preparó una carta con los contornos batimétricos de EBES usando las medidas de sonar a intervalos separados por 0.92 km alrededor de diez trayectorias circulares. La circunferencia de cada círculo con su centro en el pico del bajo se separó por una distancia de 1.86 km. El intervalo de los contornos fue 100 m. Para LA, las isobatas fueron tomadas del mapa de la topografía submarina del Golfo de California (Fisher *et al.*, 1964). La distribución de los contornos batimétricos es aproximada, debido a los escasos levantamientos en esta zona. Las profundidades fueron convertidas de brazas a metros. El intervalo de los contornos fue de 182.9 m (100 brazas).

Telemetría ultrasónica (transmisión de información por medio de una señal ultrasónica): En su ambiente natural, los tiburones martillo fueron marcados con transmisores ultrasónicos en la región interdorsal, utilizando para ello un arpón que dispara un dardo subcutáneo en el cual se encuentra adherida la unidad. Cada transmisor contuvo sensores para determinar la profundidad y temperatura a la cual el tiburón se desplazaba. Los pulsos ultrasónicos emitidos por los transmisores fueron registrados y convertidos en valores numéricos empleando para ello un microprocesador de interfase (para descripción detallada consultar Cigas y Klimley, 1987). Los seguimientos telemétricos del tiburón se efectuaron desde una pequeña embarcación, tipo panga de 7 m de eslora con motor fuera de borda de 55 HP, la cual se mantuvo cerca del animal en virtud del limitado alcance de operación del receptor. Por medio de otro transmisor, colocado en una segunda embarcación, se obtuvieron cada hora los registros de temperatura y profundidad del agua que circundaba al tiburón.

horizontal and vertical movements of the scalloped hammerhead shark in the pelagic environment surrounding Espiritu Santo Seamount (EBES) and Las Animas Island (LA) are described in this study.

MATERIAL AND METHODS

Study area: The study was conducted at El Bajo Espiritu Santo (24°41' N; 110°16' W) and Las Animas Island (25°06' N; 110°31' W), in the southern Gulf of California (Fig. 1). The bathymetric contours of EBES were mapped using sonar measurements at 0.92 km intervals around ten circular trajectories. The circumference of each circle with its centre at the peak of the seamount was separated by 1.86 km. The range of the contours was 100 m. For LA, the isobaths were taken from the chart of submarine topography of the Gulf of California (Fisher *et al.*, 1964). The distribution of the bathymetric contours is approximate, due to the few elevations in this area. Depths were converted from fathoms to metres. The contour interval was 182.9 m (100 fathoms).

Ultrasonic telemetry (transmission of information by means of an ultrasonic signal): In their natural environment, scalloped hammerhead sharks were tagged with ultrasonic transmitters in the middorsal region, using a harpoon that implants a subcutaneous dart to which the unit is attached. Each transmitter was equipped with sensors to determine the depth and temperature in which the shark swam. The ultrasonic pulses emitted by the transmitters were recorded and converted into numerical values using a microcomputer interface (for a detailed description see Cigas and Klimley, 1987). The telemetric trackings of the shark were carried out from a 7-m boat with a 55 HP outboard motor, which was kept close to the fish due to the receiver's limited range of operation. Water temperature and depth surrounding the shark were recorded hourly with another transmitter aboard a second boat.

The position (direction and distance) of the tagged sharks was determined every 15 minutes from the location of the tracking boat using the radar on board the O/V *Robert Gordon Sproul*, taking as points of reference a dirigible reflector located at EBES and the latitude and longitude coordinates from the Satellite Global Positioning System (GPS).

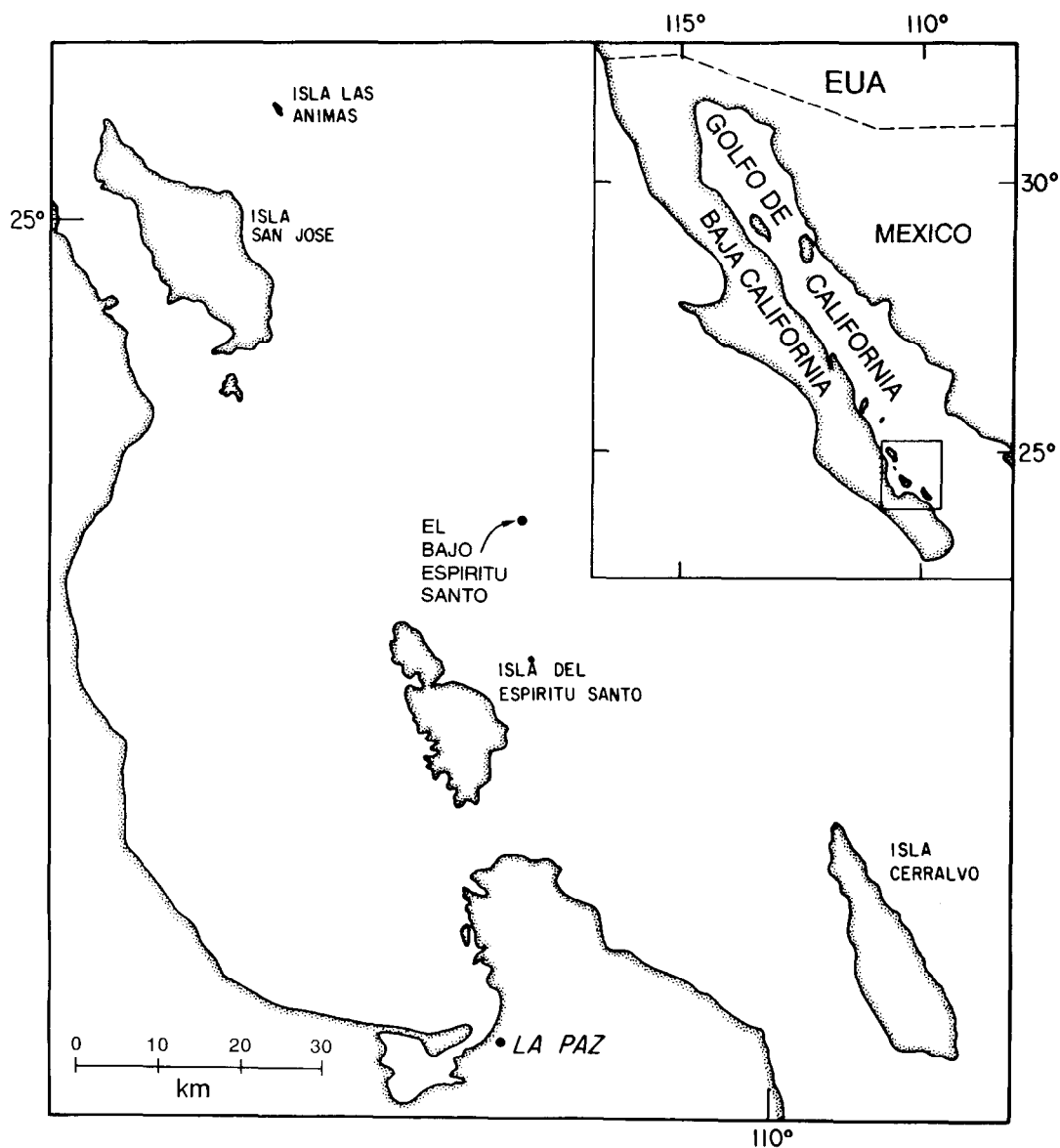


Figura 1. Mapa del área de estudio. Los tiburones martillo fueron rastreados en Bajo Espíritu Santo (EBES) e Isla Las Animas (LA).

Figure 1. Map of the study area. Scalloped hammerhead sharks were tracked at El Bajo Espíritu Santo (EBES) and Las Animas Island (LA).

La posición (rumbo y distancia) de los tiburones marcados fue determinada cada quince minutos, a partir de la ubicación de la embarcación rastreadora por medio de un radar del B/O *Robert Gordon Sproul*, tomando como puntos de referencia un reflector dirigitivo situado en EBES y las coordenadas de latitud y longitud del Sistema Global de Posicionamiento por Satélite (GPS). El error espacial de las posiciones determinadas por radar fue calculado a partir de la separación de las posiciones de radar y del GPS del *Sproul* y será presentado en otro artículo. La exactitud espacial de los posicionamientos por GPS, triangulados a partir de cuatro o más satélites, fue de 10 m (Hurn, 1989).

RESULTADOS

Movimientos horizontales

Se siguieron los movimientos de tres tiburones martillo, *Sphyrna lewini*, en EBES y de otro en LA (tabla 1). El primer seguimiento correspondió a una hembra de 200 cm de longitud total (LT), durante los días 8 y 9 de agosto de 1986. Este tiburón, que se marcó a las 15:07 horas de la tarde, comenzó a moverse a las 16:25; se desplazó al norte de EBES 20 km y regresó al bajo a las 05:49 del día siguiente (Fig. 2). Durante el primer tercio del seguimiento A1, la cornuda atravesó el talud de una cordillera submarina; en el segundo tercio, se desplazó en forma paralela a dicha cordillera para nuevamente atravesar su pendiente. El patrón de los movimientos de regreso fue paralelo a los dos últimos tercios del modelo de ida, mientras que en la última parte de su retorno se alejó de dicho patrón. Este tipo de movimientos de salida y llegada a un sitio específico, se denominan comúnmente en inglés *homing*.

El segundo tiburón fue una hembra de 175 cm (LT), marcada el 23 de julio de 1989 a las 07:45, que se rastreó continuamente hasta el 31 del mismo mes. Este tiburón durante las horas del día se mantuvo sobre el EBES, mientras que durante las horas de la noche llevó a cabo excursiones en aguas más profundas (Figs. 2 a 5). Las distancias recorridas por esta hembra variaron entre 8 y 30 km. En general, los movimientos se realizaron hacia las áreas norte y este del EBES. Durante sus excursiones nocturnas, se trasladó sobre una planicie profunda y alcanzó otro bajo, con

The errors in the positions determined by radar were calculated from the differences in the positions of the *Sproul* obtained by radar and by the GPS and will be presented elsewhere. The accuracy of the GPS positions, triangulated from four or more satellites, was 10 m (Hurn, 1989).

RESULTS

Horizontal movements

Three scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) were tracked at EBES and a fourth at LA (table 1). The first tracking corresponded to a female of 200 cm total length (TL), on 8 and 9 August, 1986. This shark, tagged at 15:07 hours, began moving at 16:25; it swam 20 km to the north of EBES and returned at 05:49 the following day (Fig. 2). During the first third of tracking A1, the scalloped hammerhead crossed the slope of a seamount. In the second third it moved parallel to this seamount and then recrossed its slope. The pattern of the return movements was antiparallel to the last two thirds of the departure model, whereas in the last part of its return it moved away from this pattern. Movements away from and back to a specific site are commonly called *homing*.

The second shark was a 175-cm (TL) female, tagged on 23 July, 1989 at 07:45 and continually tracked until 31 July. During daylight hours this shark remained above EBES, whereas during the night it made excursions to deeper waters (Figs. 2-5). The distances covered by this female ranged from 8 to 30 km. In general, it moved to the north and east of EBES. During its nocturnal excursions it moved over a deep plain and reached another seamount, except on the second day, when it swam towards the seamount located to the north of EBES. The shark remained in the same geographic area during its excursions. For example, during tracking B4 in the first hours of the day (between 01:30 and 04:00), its movements were similar to those before in the track. In tracking B5, a similar pattern was observed in the movements away from and back to EBES.

Shark C was a 225-cm (TL) female, tagged on 5 August, 1989 at 08:00 and followed continuously until day 9. Like the others, this shark remained above EBES during the day and made excursions into

Tabla 1. Tamaño y sexo de los tiburones, y fechas cuando fueron seguidos.
Table 1. Size and sex of the sharks, and dates when they were tracked.

Sitio	Tiburón	Longitud (cm)	Sexo (M/H)	Movimiento homing	Fecha
EBES	A	200	H	A1	8-9 agosto 1986
EBES	B	175	H	B1	23-24 julio 1989
				B2	24-25 julio 1989
				B3	25-26 julio 1989
				B4	27-28 julio 1989
				B5	24-25 julio 1989
				B6	29-30 julio 1989
				B7	30-31 julio 1989
EBES	C	225	H	C1	5 agosto 1989
				C2	5-6 agosto 1989
				C3	6 agosto 1989
				C4	6-7 agosto 1989
				C5	7 agosto 1989
				C6	7-8 agosto 1989
LA	D	140	H	D1	29 julio 1988
				D2	30 julio 1988

excepción del segundo día, cuando se dirigió hacia la cordillera ubicada al norte del EBES. Los movimientos de este tiburón se llevaron a cabo sobre la misma área geográfica. Por ejemplo, durante el seguimiento B4 en las primeras horas del día (entre 01:30 y 04:00), el tiburón se desplazó en forma similar a las anteriores del seguimiento. En el rastreo B5 se observó una característica similar en los movimientos de ida y de regreso al EBES.

El tiburón C fue una hembra de 225 cm (LT) marcada el 5 de agosto de 1989 a las 08:00 y seguida continuamente hasta el día 9. Al igual que los otros tiburones, este ejemplar en el día se mantuvo sobre el bajo y por la noche realizó excursiones hacia aguas pelágicas (Figs. 5 a 7). El intervalo de distancias recorridas fue de 4 a 10 km. La dirección promedio de estos movimientos fue hacia el noreste del EBES. También se pudo observar que algunos de los movimientos de este tiburón describieron un giro sobre el área visitada. Algunos de ellos fueron realizados sobre la cordillera que se ubica al norte del EBES, mientras que otros se registraron sobre

pelagic waters during the night (Figs. 5-7). The distances covered ranged from 4 to 10 km. The average direction of these movements was to the northeast of EBES. Some of the shark's movements described a circle over the area visited. Some of them occurred above the seamount to the north of EBES, whereas others were recorded over the deep plain to the east of EBES. During trackings C5 and C6, the patterns of movement to and from EBES coincided geographically.

All three sharks moved to the northeast of EBES. The pattern of movement of these three sharks presented remarkable similarities. For example, this pattern was observed for shark A (17:00), shark B during tracking B3 (02:00) and shark C during trackings C3 (03:00), C4 (03:00) and C5 (06:00 and 07:00).

The fourth shark, a 140-cm (TL) female, was tagged on 29 July, 1988 at 10:00 and tracked for two consecutive days (29 and 30). It showed two clear trajectories: the first, D1, was a wide circle to the southeast of LA (10:00-20:00), and the second, D2, was a straight-line movement with south-north di-

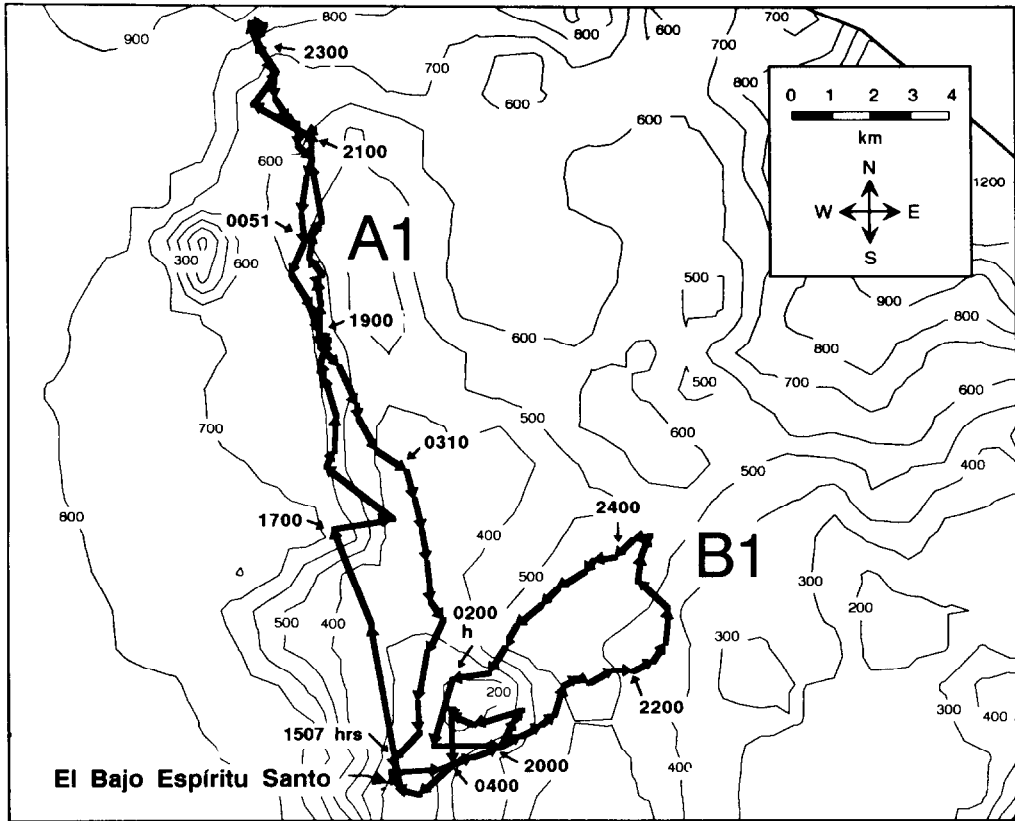


Figura 2. Excursiones *homing* A1 y B1, de los tiburones A y B respectivamente, superpuestas a los contornos batimétricos (cada 100 m) de la localidad. Están señaladas por vectores entre dos posiciones determinadas cada 15 min. Los tiempos de seguimiento indicados representan periodos de 2 h.

Figure 2. Homing excursions A1 and B1 of sharks A and B, respectively, superposed on the bathymetric contours (every 100 m) of the site. They are indicated by vectors between two positions determined every 15 min. The tracking times indicated represent two-hour periods.

la planicie profunda que se localiza al este del mismo. Durante los movimientos C5 y C6 los patrones de desplazamiento de salida y entrada al EBES coincidieron geográficamente.

Los tres diferentes tiburones se desplazaron hacia el noreste de EBES. El patrón de movimiento de estos ejemplares presentó una notable sobreposición. Por ejemplo, dicho patrón se observó en el tiburón A (17:00), el tiburón B durante el rastreo B3 (02:00) y el tiburón C en los seguimientos C3 (03:00), C4 (03:00) y C5 (06:00 y 07:00).

El cuarto tiburón, una hembra de 140 cm (LT), fue marcado el 29 de julio de 1988 a las 10:00 y seguido durante dos días

rección (20:00-02:00). The approximate distance covered was 14.5 km. In contrast to the previous trackings, this shark actively moved during the day and during the night (Fig. 8).

The movements of shark A (Fig. 2) did not follow the fronts of surface temperature. The beginning of this tracking and the maximum distance reached are shown on a satellite image with the surface temperatures of the study area, indicated with a cross and a square, respectively (Fig. 9). As can be seen in this image, taken on 8 August, 1986 with NOAA 9 AVHRR satellite during its trajectory over the study area, this movement did not follow the border between the two masses

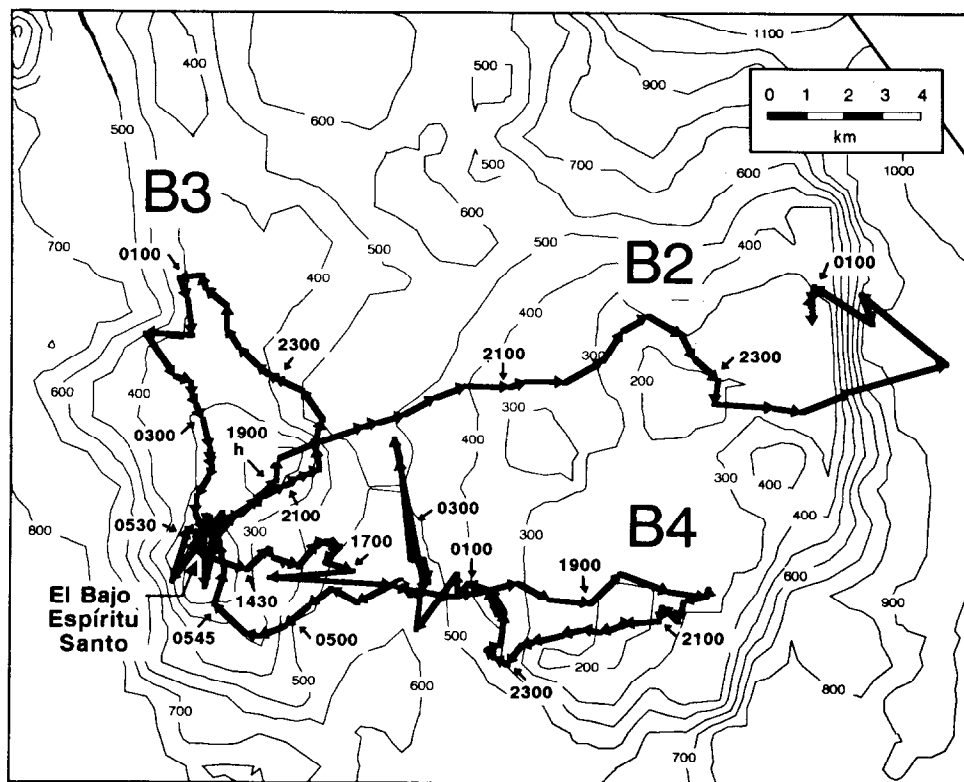


Figura 3. Excursiones B2, B3 y B4 del tiburón B.
 Figure 3. Excursions B2, B3 and B4 of shark B.

consecutivos (29 y 30). Este mostró dos claras trayectorias: la primera, D1, consistió en un amplio giro hacia el sureste de LA (10:00 a 20:00) y la segunda, D2, fue un movimiento en línea recta con dirección sur-norte (20:00 a 02:00). La distancia aproximada recorrida fue de 14.5 km. A diferencia de los seguimientos anteriores, este tiburón se desplazó activamente durante las horas del día y de la noche (Fig. 8).

Los movimientos del tiburón A (Fig. 2) no siguieron los frentes de temperatura superficial. El inicio de dicho seguimiento y la máxima distancia alcanzada se muestran sobre una imagen de satélite con las temperaturas superficiales del área de estudio, indicados con una cruz y un cuadro respectivamente (Fig. 9). Como se observa en dicha imagen, que fue tomada durante el día del 8 de agosto de 1986, a través del satélite de la NOAA 9 AVHRR durante su trayectoria de paso sobre

of water with different surface temperatures, indicated by the light and dark colours. A thermal front with northeast direction can also be seen in Fig. 9, to the north of the maximum point of this displacement (white square).

Vertical movements

The scalloped hammerhead sharks generally made vertical excursions, ascending and descending in the water column (Fig. 10). For example, shark D made vertical excursions approximately between 25 and 400 m depth during the day (11:00-18:30). However, at night the depth of these movements ranged from 50-450 m (19:30-02:00). Sharks A and C presented similar nocturnal vertical movements during trackings A1 (Fig. 11) and C6 (Fig. 12), respectively. The diurnal vertical excursions of sharks A and D were less deep than the nocturnal.

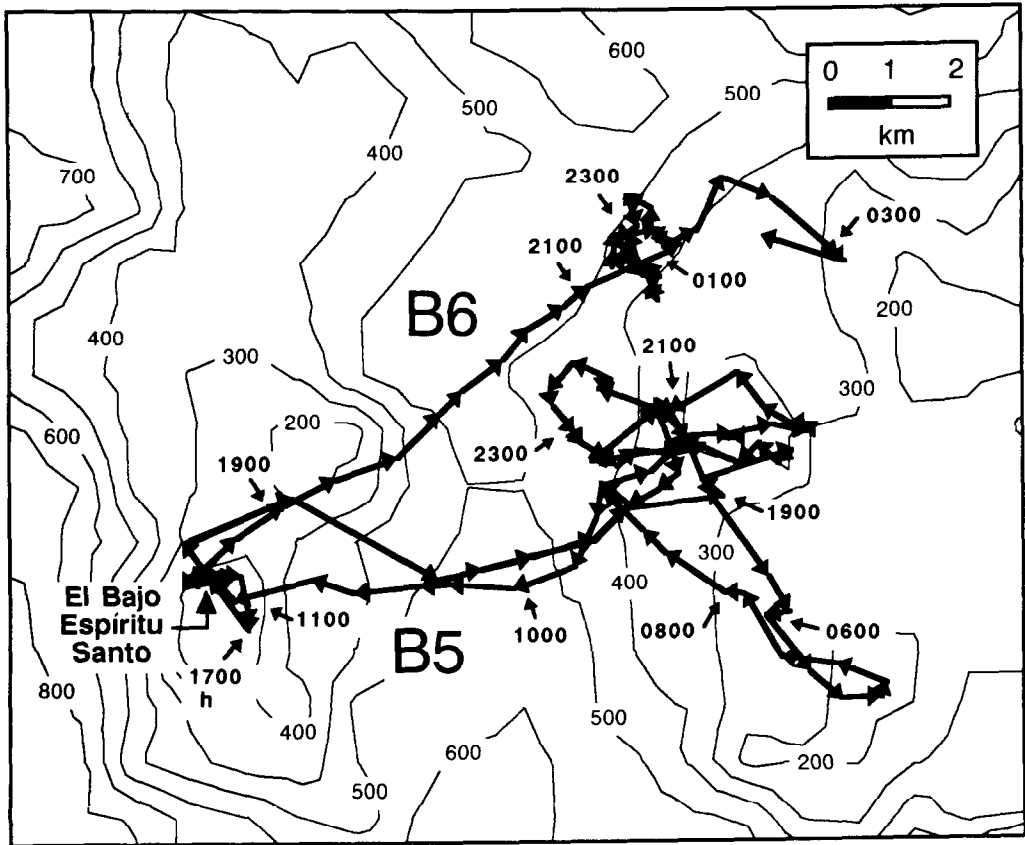


Figura 4. Movimientos B5 y B6 del tiburón B. Se observa que las llegadas y salidas son próximas y paralelas entre sí a las 10:00 h del movimiento B5. Lo mismo ocurrió en los 2/3 del movimiento A1 del tiburón A.

Figure 4. Trackings B5 and B6 of shark B. Departure and return movements are close to and parallel to each other at 10:00 h of movement B5. The same occurred in 2/3 of excursion A1 of shark A.

el área de estudio, este movimiento no siguió el límite entre las dos masas de agua de diferentes temperaturas superficiales, indicadas por los colores claro y oscuro. En la misma figura, se contempla la presencia de un frente térmico con dirección noroeste, más al norte del punto máximo de este desplazamiento (cuadro blanco).

Movimientos verticales

Los tiburones martillo realizaron generalmente movimientos descendentes y ascendentes a través de la columna de agua (Fig. 10). Por ejemplo, el tiburón D llevó a

The sharks tagged in this study made nocturnal excursions, moving mainly in the centre of the water column. Profiles of water temperature were obtained for the vertical excursions of shark D. Most ascending movements occurred below the mixed temperature layer (see 18^o, Fig. 10), but on two occasions during the day and two during the night this individual crossed this layer. Records for the water temperatures encountered by the other two sharks were not obtained. However, monthly temperature profiles (Robinson, 1973) for a point close to EBES, 25° N and 110° W, were used to determine that these sharks also moved below the mixed layer.

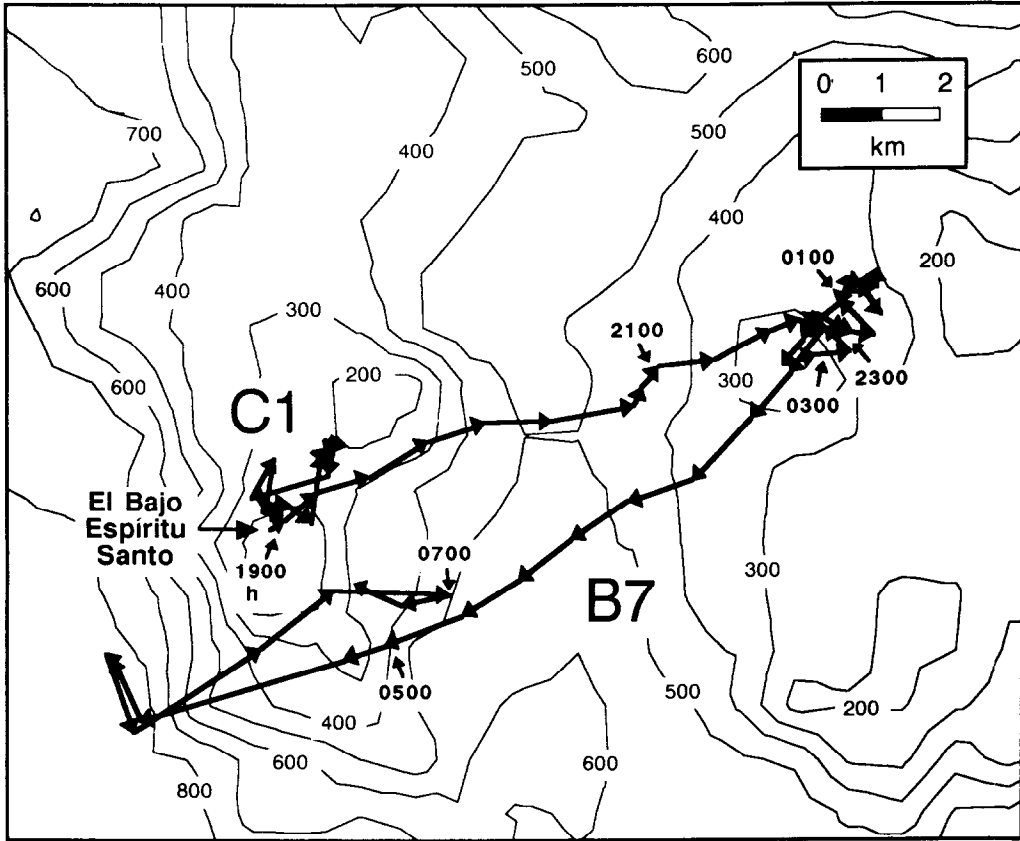


Figura 5. Trayectorias B7 y C1 de los tiburones B y C, respectivamente.
Figure 5. Trackings B7 and C1 of sharks B and C, respectively.

cabo excursiones verticales aproximadamente entre profundidades de 25 y 400 m en las horas del día (11:00 a 18:30). Sin embargo, durante la noche estos movimientos tuvieron un intervalo de profundidad de 50 a 450 m (19:30 a 02:00). Similares excursiones verticales nocturnas presentaron los tiburones A, durante el movimiento A1 (Fig. 11), y C durante el rastreo C6 (Fig.12). Los desplazamientos verticales diurnos de los tiburones A y D fueron menos profundos que los nocturnos.

Los tiburones marcados en este estudio realizaron sus excursiones nocturnas desplazándose principalmente sobre el centro de la columna de agua. Para las excursiones verticales del tiburón D, se cuenta con los perfiles de temperatura del agua cercana a él. La mayor parte de los movimientos ascendentes

Changes in depth of shark A with respect to the isotherms, according to Robinson's data (Fig. 11), are similar to changes in temperature recorded by this shark's transmitter (Fig. 12). This was observed in the descent made at 21:30 and the drop in temperature recorded at the same time. The only excursion in which the shark rose to the surface was at 18:00 (Fig. 10), just before sunset (see lower black bar). During the trackings it was common to see scalloped hammerheads on the surface at EBES a little before and a little after dusk. Most of the diving movements of sharks A and C occurred in a depth range of 250-560 m. Therefore, it is logical to assume that the sharks do not use the profile of the bottom (seamounts and valleys) to find EBES in their return movements. Shark B swam along the

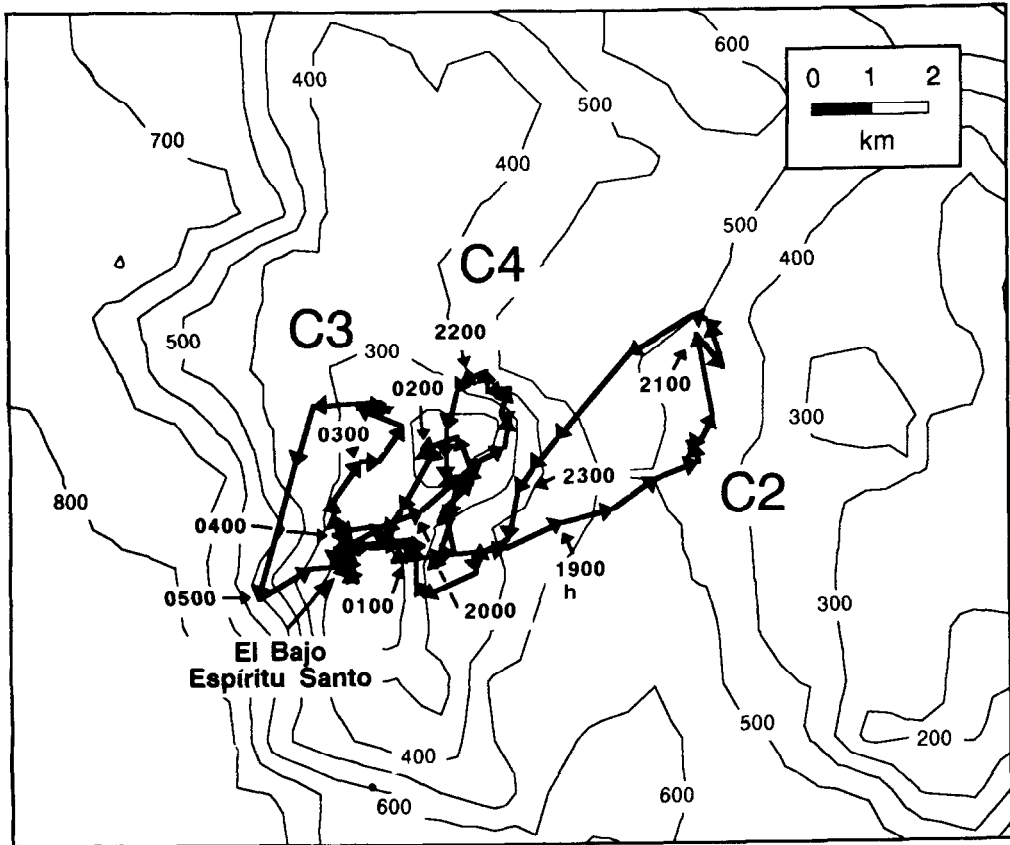


Figura 6. Seguimientos C2, C3 y C4 del tiburón C.
Figure 6. Trackings C2, C3 and C4 of shark C.

se llevaron a cabo por debajo de la capa mixta de temperatura (ver 18°, Fig. 10). Sin embargo, en dos ocasiones durante el día y dos durante la noche este individuo cruzó dicha capa. Aunque para los restantes dos tiburones no se pudo contar con registros de la temperatura del agua que les rodeaba, con base en los perfiles mensuales de temperatura (Robinson, 1973) para un punto cerca del EBES, 25°N y 110°O, se indica que también estos tiburones se desplazaron por debajo de la capa mixta. El cambio en la profundidad del tiburón A con respecto a las isoterms, según los datos de Robinson (Fig. 11), es semejante a los cambios de las medidas de la temperatura registrados por el transmisor del mismo tiburón (Fig. 12). Esto se pudo observar en la trayectoria descendiente que realizó a las 21:30 y la caída en el registro de temperatura a la misma hora.

bottom only on one occasion at 04:40 and though the shark was at the same depth, the bottom in this area was shallower (Fig. 13).

DISCUSSION

Horizontal movements

The scalloped hammerhead sharks remained above the seamount and near the island during the day and made excursions into the pelagic region during the night. This is a characteristic behaviour of large and mobile species in the sea. For example, this type of movement in relation to seamounts has been determined by ultrasonic telemetry for the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Yuen, 1970) and swordfish, *Xiphias gladius* (Carey and Robison, 1981). Similar movements

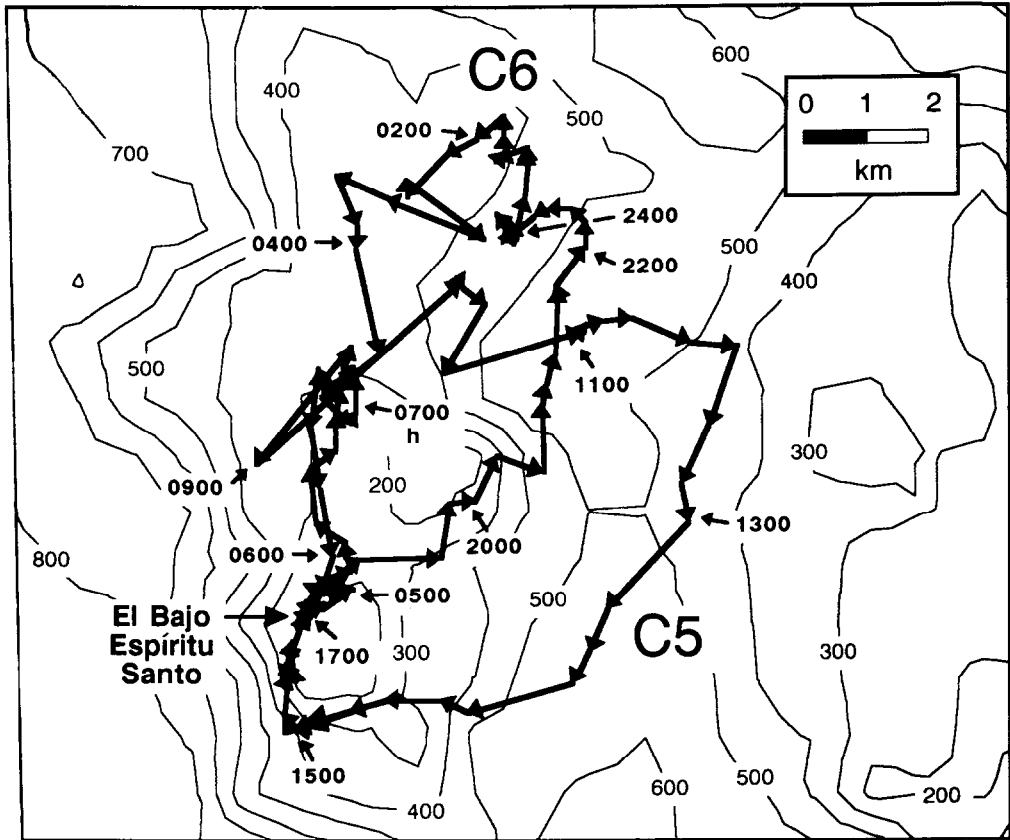


Figura 7. Movimientos C5 y C6 del tiburón C.
 Figure 7. Trackings C5 and C6 of shark C.

El único movimiento en que el tiburón alcanzó la superficie fue a las 18:00 (Fig. 10), tiempo próximo a la puesta del sol (ver barra negra inferior). Durante los seguimientos fue común observar a las cornudas en la superficie del EBES poco antes y poco después del atardecer. La mayoría de los movimientos descendientes de los tiburones A y C ocurrieron en un intervalo de profundidad de 250 a 560 m. Por esta razón, es lógico pensar que los tiburones no utilizan el perfil del fondo (cordilleras y valles) para encontrar el EBES en sus movimientos de regreso. Solamente en una ocasión el tiburón B se desplazó sobre el fondo a las 04:40 h y aunque el tiburón se encontraba a la misma profundidad, el fondo en esta zona era más somero (Fig. 13).

around islands have been studied in the blue shark, *Prionace glauca* (Sciarrotta and Nelson, 1977; Tricas, 1979). These movements have also been observed in yellowfin, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, associated with fish aggregating devices (Holland *et al.*, 1990b). Other similar species move in a straight line and in circles over great distances. Similar movements have been observed in the albacore, *Thunnus alalunga* (Laurs *et al.*, 1977), the Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus* (Jolley and Irby, 1979), the white shark, *Carcharodon carcharias* (Carey *et al.*, 1982), the Atlantic salmon, *Salmo salar* (Westerberg, 1982a), the sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Quinn *et al.*, 1989), the blue shark, *Prionace glauca*

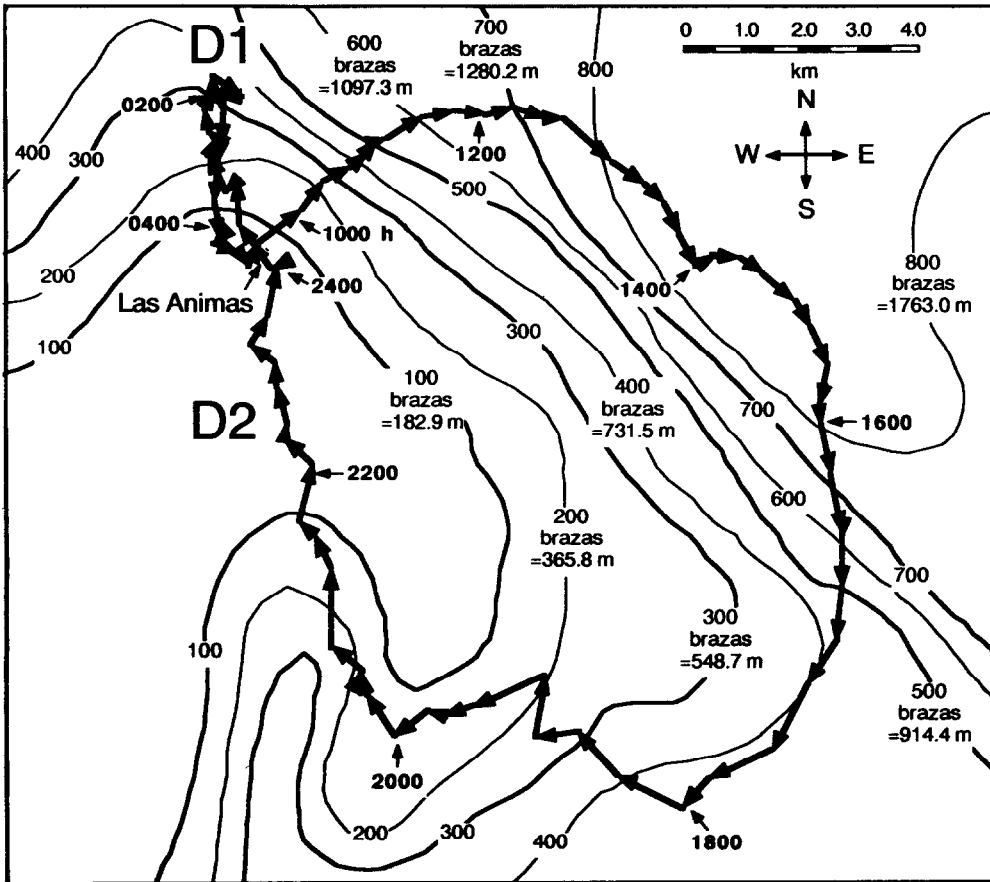


Figura 8. Movimientos *homing* D1 y D2 del tiburón D.
 Figure 8. Homing movements D1 and D2 of shark D.

DISCUSION

Movimientos horizontales

Estos tiburones martillo poseen un comportamiento social caracterizado por que durante las horas del día se mantienen sobre pequeñas áreas encima del EBES y LA, y durante la noche llevan a cabo excursiones hacia el medio pelágico circunvecino. Este modelo es característico de especies grandes y móviles en el mar. Por ejemplo, este tipo de movimiento con respecto a los bajos se ha determinado por telemetría ultrasónica en el barrilete, *Katsuwonus pelamis* (Yuen, 1970),

(Landesman, 1984; Carey and Scharold, 1990), and the Pacific blue marlin, *Makaira nigricans* (Holland *et al.*, 1990a).

The following hypothesis may explain why the hammerhead sharks return to EBES after their nocturnal excursions. Espiritu Santo Seamount is a conspicuous and permanent landmark, used by the sharks as a point of geographic reference that allows them to return to feed in the pelagic region. Scalloped hammerheads mainly feed on fish and squid that inhabit the oceanic region and are not found at the seamount (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989). The sharks follow the same geographic routes between EBES and the oceanic region (Figs. 2-4). The

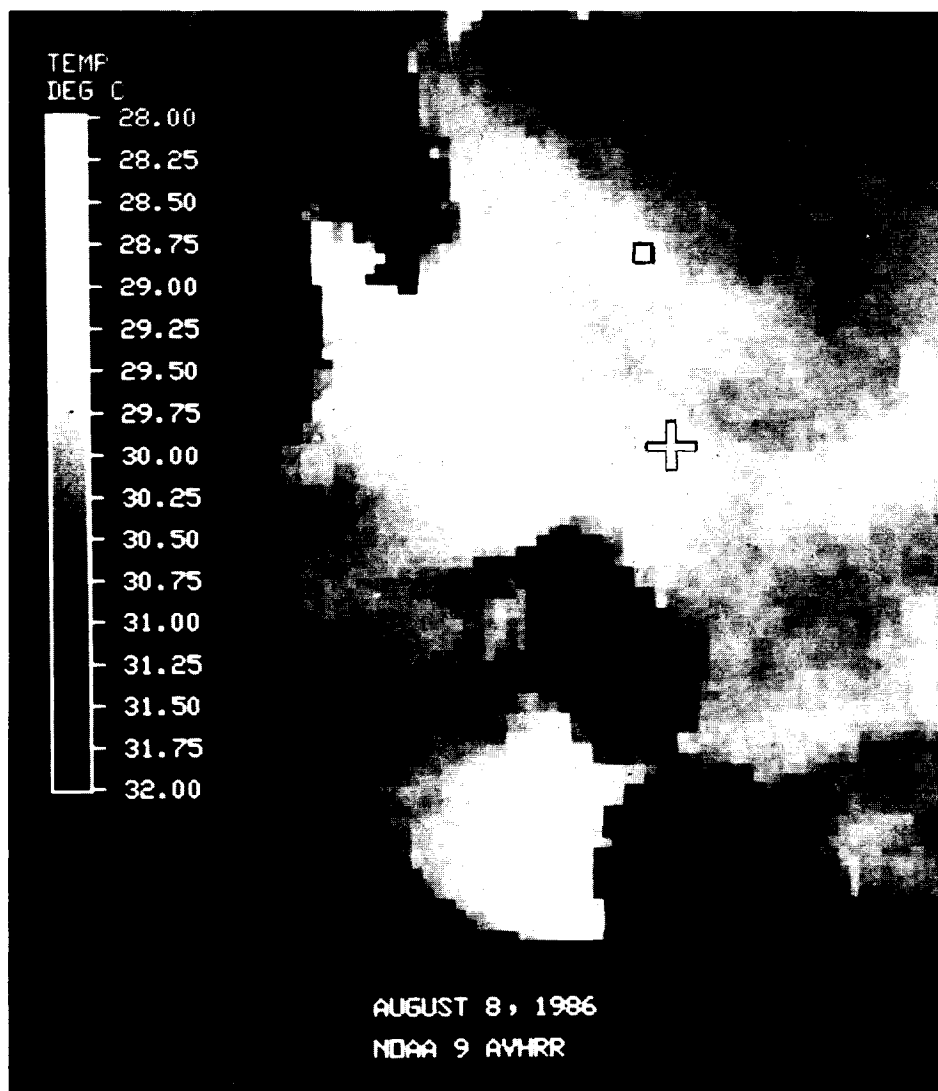


Figura 9. Imagen de la temperatura superficial en el EBES (cruz blanca), tomada durante la trayectoria de paso del Satélite NOAA AVHRR, el 8 de agosto de 1986. La resolución térmica es 0.02°; la resolución espacial, 1.2 km².

Figure 9. Image of the surface temperature at EBES (white cross), taken during the trajectory of NOAA AVHRR satellite on 8 August, 1986. Thermal resolution is 0.02°; spatial resolution is 1.2 km².

y el pez espada, *Xiphias gladius*, (Carey y Robison, 1981). Movimientos idénticos alrededor de islas han sido estudiados en el tiburón azul, *Prionace glauca* (Sciarrotta y Nelson, 1977; Tricas, 1979). Estos movimientos también han sido observados mediante seguimien-

degree of superposition of the different movements will be shown in a future work. Apparently, there is no relationship between these routes and the submarine bathymetry of the region, but a relationship has been observed between the movements and the maximum

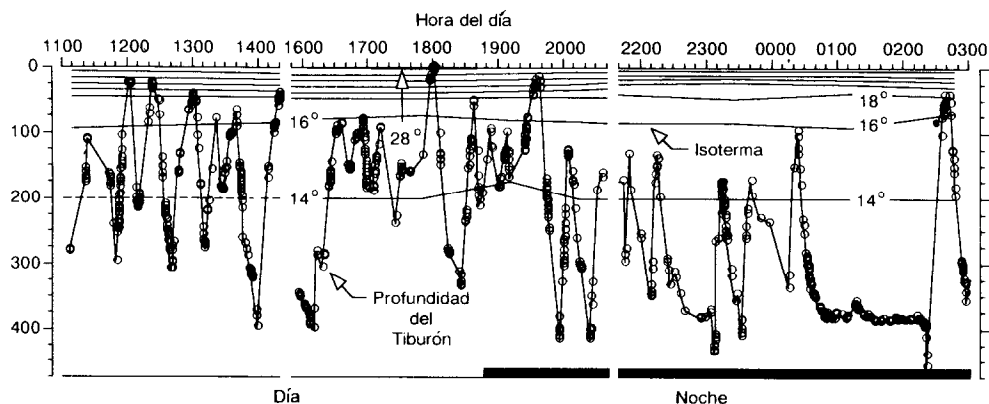


Figura 10. Registro de los movimientos verticales del tiburón D, en LA, superpuesto a la distribución de temperatura de la columna de agua cercana a él, registrada por un segundo transmisor a una profundidad de 200 m. La línea punteada indica un periodo de tres horas en que este tiburón se mantuvo dentro de un intervalo de temperatura de 2°C.

Figure 10. Vertical movements of shark D, at LA, superposed on the distribution of temperature of the water column around it, recorded by a second transmitter at 200 m depth. The dotted line represents a three-hour period during which this shark remained within a temperature range of 2°C.

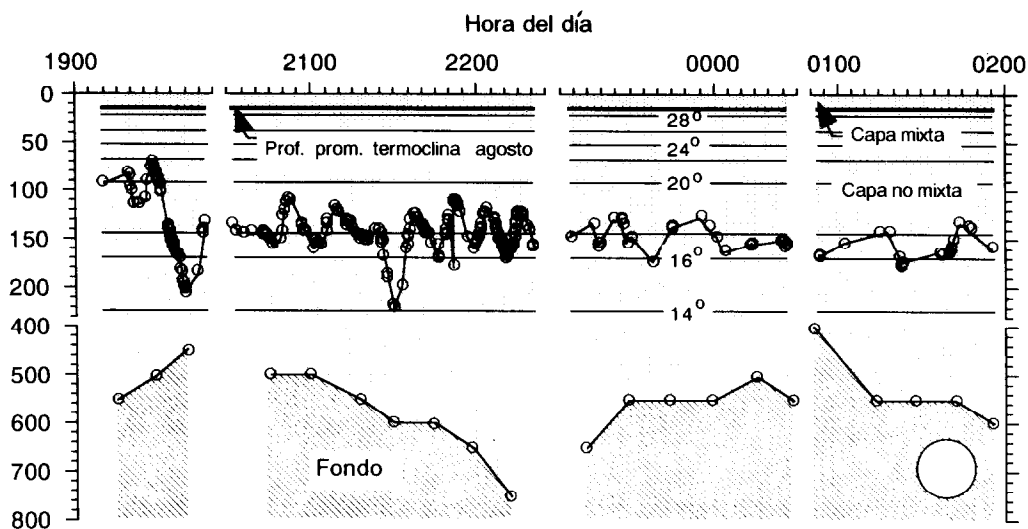


Figura 11. Registro de los movimientos verticales del tiburón B, superpuesto a la distribución de temperatura basada en el registro de un batitermógrafo, tomado en agosto cerca de EBES (Fig. 89 VIII; Robinson, 1973). Nótese que el tiburón nadó en posiciones distantes de la superficie y el fondo, donde las señales celestes y batimétricas no son visibles.

Figure 11. Vertical movements of shark B, superposed on the distribution of temperature based on a bathythermograph recording taken in August close to EBES (Fig. 89, VIII; Robinson, 1973). Note that the shark swam below the surface and away from the bottom, where celestial and bathymetric signs are not visible.

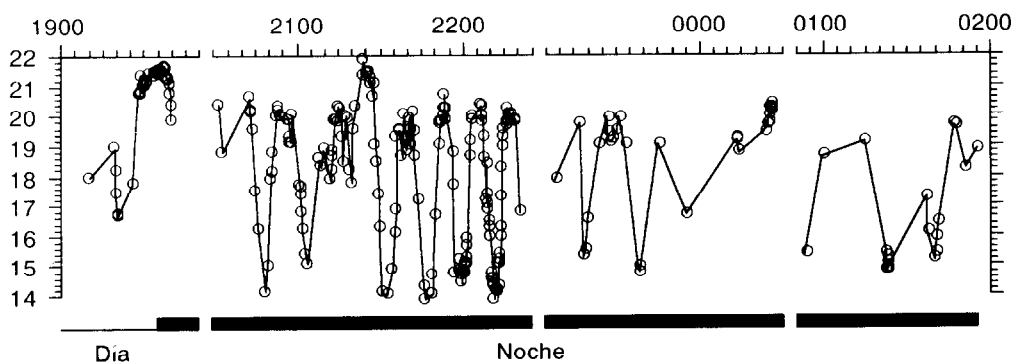


Figura 12. Registro de la temperatura del agua, obtenido por telemetría durante el movimiento del tiburón A.

Figure 12. Water temperature, obtained by telemetry during the movement of shark A.

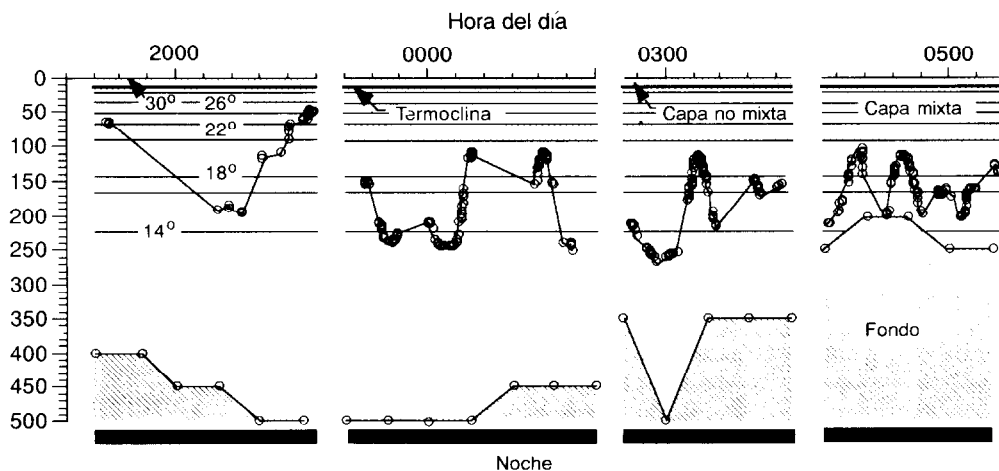


Figura 13. Registro de los movimientos verticales del tiburón C, superpuesto a la distribución de la temperatura del registro de un batitermógrafo, tomado en agosto cerca del EBES (Fig. 89, VIII; Robinson, 1973).

Figure 13. Vertical movements of shark C, superposed on the distribution of temperature from a bathythermograph recording taken in August close to EBES (Fig. 89, VIII; Robinson, 1973).

tos telemétricos en el atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y el patudo, *Thunnus obesus*, asociados con mecanismos de atracción de peces (FADs) (Holland *et al.*, 1990b). Otras especies similares se mueven en línea recta y en giros a través de grandes distancias en el mar. Movimientos parecidos se han observado en la albacora, *Thunnus alalunga* (Lauris *et al.*, 1977), el pez vela, *Istiophorus platypterus* (Jolley e Irby, 1979), el tiburón blanco, *Carcharodon carcharias* (Carey *et al.*, 1982), el salmón del Atlántico, *Salmo salar*

and minimum values of the intensity of the geomagnetic fields. These gradients form valleys and seamounts in the geomagnetic topography of the study area (personal observation).

This hypothesis has implications for the fisheries of the region. Hammerhead sharks are not distributed at random in the sea. They are more abundant in the previously described routes. Knowledge of the precise location of these routes and the environmental factors associated to them is important in order to

(Westerberg, 1982a) y del Pacífico, *Onchorhynchus nerka* (Quinn *et al.*, 1989), el tiburón azul, *Prionace glauca* (Landesman, 1984; Carey y Scharold, 1990), y en el marlín azul, *Makaira nigricans* (Holland *et al.*, 1990a).

Existe una hipótesis que puede explicar el porqué los tiburones martillo regresan al bajo después de sus excursiones nocturnas. El EBES puede ser una marca conspicua y permanente, utilizada por los tiburones como punto de referencia geográfica que les permite regresar a alimentarse en la región pelágica. Estos tiburones se alimentan principalmente de peces y calamares que habitan la región oceánica y que no se encuentran en el bajo (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989). Los tiburones utilizan las mismas rutas geográficas en sus salidas y regresos entre el EBES y la región oceánica (Figs. 2 a 4). El grado de sobreposición de los diferentes movimientos se mostrará con mayor detalle en otro artículo. Aparentemente, no existe relación alguna entre estas rutas y la batimetría submarina de la región. Pero sí se ha observado una relación entre los movimientos y los valores máximos y mínimos de la intensidad de los campos geomagnéticos. Estos gradientes forman valles y cordilleras en la topografía geomagnética del área de estudio (observación personal).

Esta hipótesis tiene implicaciones para la pesquería de la región. Los tiburones martillo no se distribuyen al azar en el mar. Son más abundantes en las rutas anteriormente descritas. El conocimiento de la ubicación precisa de éstas y el factor ambiental que está asociado a ellas es importante para pescar más eficientemente esta especie. La cornuda forma parte de una comunidad de peces pelágicos y es probable que otras especies, también de importancia comercial como los picudos, utilicen las mismas rutas en la región (Klimley y Butler, 1988).

La mayoría de las excursiones fuera del EBES se realizaron durante las horas de la noche. De los quince movimientos que se describen en este trabajo, trece se efectuaron durante la noche. Dieciocho tiburones martillo fueron marcados con transmisores ultrasónicos con diferentes códigos y sus salidas y entradas al EBES fueron registradas empleando monitores automáticos durante un período de diez días (Klimley *et al.*, 1988). Estos tiburones salieron del bajo al atardecer en

catch this species more efficiently. The scalloped hammerhead shark forms part of a community of pelagic fishes, and these other commercially important species probably use the same routes in this region (Klimley and Butler, 1988).

Most of the excursions from EBES were nocturnal. Of the 15 movements described in this study, 13 were made during the night. Eighteen scalloped hammerhead sharks were tagged with ultrasonic transmitters with different codes and their departure and return movements to EBES were recorded using automatic monitors for a period of 10 days (Klimley *et al.*, 1988). These sharks left EBES individually at dusk and returned in the same way at dawn. In this study, only two excursions occurred during the day. One of these movements (the circular excursion of shark D, Fig. 8) occurred immediately after being tagged, possibly due to trauma induced by this action. The second was observed in tracking C5 of shark C, after two days of nocturnal excursions, so trauma probably did not occur in this shark. Arrivals at EBES of solitary sharks were not frequently recorded. Rarely has the arrival of groups of hammerhead sharks been recorded at this seamount when upwelling conditions occur in the area, but they return to EBES at the end of these events (Klimley and Butler, 1988). It was not possible to establish whether shark C was alone or formed part of a shoal since only this individual was tagged with a transmitter.

Vertical movements

Vertical movements (like that of a yo-yo) have been observed in most pelagic fishes. These have been recorded by telemetry for the Atlantic sailfish (Jolley and Irby, 1979), swordfish (Carey and Robison, 1981), Atlantic salmon (Westerberg, 1982b), blue shark (Landesman, 1984; Carey and Scharold, 1990), Pacific blue marlin (Holland *et al.*, 1990a), yellowfin and bigeye tuna (Holland *et al.*, 1990b).

A possible explanation for the vertical movements of hammerhead sharks is that they descend in search of mesopelagic prey. In our most complete tracking of vertical movements (shark D), the shark remained more time in the lower than in the upper layer. This was observed in the descents at 22:20 and 00:20 (Fig. 10), that were deeper than the diurnal

forma individual y regresaron de la misma forma al amanecer. Durante el presente estudio, solamente dos excursiones ocurrieron durante el día. Uno de estos movimientos (el giro del tiburón D, Fig. 8) aconteció inmediatamente después de ser marcado, posiblemente esto se debió a un trauma inducido por esta acción. El segundo se observó en el seguimiento C5 del tiburón C, después de dos días en que desarrolló movimientos nocturnos, por lo que es probable que este tiburón no tuviera trauma alguno. Llegadas de tiburones aislados al EBES no se registraron con frecuencia en los monitores. Raramente se ha registrado la llegada de un grupo de tiburones martillo al bajo cuando hay condiciones de surgencia en la zona, pero regresan a EBES al final de estos eventos (Klimley y Butler, 1988). No fue posible establecer si el tiburón C se encontraba solo o formaba parte de un cardumen ya que solamente este individuo fue marcado con transmisor.

Movimientos verticales

En la mayoría de los peces pelágicos se han observado movimientos verticales, similares a la trayectoria de un yoyo. Estos se han documentado con telemetría para el pez vela (Jolley e Irby, 1979), pez espada (Carey y Robison, 1981), salmón del Atlántico (Westerber, 1982b), tiburón azul (Landesman, 1984; Carey y Scharold, 1990), marlín azul (Holland *et al.*, 1990a), atún aleta amarilla y el paturdo (Holland *et al.*, 1990b).

Una explicación del porqué los tiburones martillo también realizan estos movimientos verticales es que descienden en busca de presas mesopelágicas. En nuestro registro más completo de movimientos verticales (tiburones D), se observó que el tiburón permanecía más tiempo en el fondo que en la capa superior. Esto se observa en los descensos de las 22:20 y 00:20 (Fig. 10), que fueron más profundos que los diurnos. El contenido estomacal de esta especie ha revelado que los machos consumen 42% de *Ancistrocheirus leseuri*, especie de cefalópodo mesopelágico, con respecto al total de su dieta (Klimley, 1987). Por otra parte, las hembras consumen 63% de dos especies de calamar mesopelágico, *Mastigoteuthis* sp., *Moroteuthis robustus* y otras especies.

Se ha sugerido que algunos atunes regresan a la superficie después de estas inmersiones para mantener una temperatura

ones. Examination of the stomach contents of this species has shown that males consume 42% of *Ancistrocheirus leseuri*, a mesopelagic cephalopod species, relative to the total of its diet (Klimley, 1987). Females consume 63% of two species of mesopelagic squid, *Mastigoteuthis* sp., *Moroteuthis robustus*, and other species.

It has been suggested that some tuna return to the surface after these dives in order to maintain a high body temperature. Could this be the reason for the vertical movements of scalloped hammerheads? Tuna have a temperature exchange system to conserve body heat. Since the hammerhead shark does not possess this system, it may need to return to the surface to recover the heat lost after the deep dives to feed on its prey. This reason has been suggested to explain ascending and descending movements of blue sharks (Carey and Scharold, 1990) and tuna (Holland *et al.*, 1990b). Carey and Scharold (1990) report a difference between the temperature of the water in the upper layer and the deeper water visited by blue sharks of 19° (26°-7°C), whereas in the vertical displacements of the scalloped hammerheads, this difference was generally only 4° (20°-16°C) during the night for shark B (Fig. 11) and 7° (20°-13°C) for shark C (Fig. 13). The vertical excursions of shark D between 16:20 and 19:20, except for one, occurred within a temperature range of 2° (16°-14°C) (shaded area, Fig. 10). This suggests that for this species the function of the vertical movements is not thermoregulation. The reason for these movements could be to detect a change of geomagnetic intensity per unit of distance, which increases as the magnetic rocky bottom is closer.

The vertical excursions of the hammerhead sharks were deeper during the night than during the day. It is not possible to ascertain whether this behaviour is the result of trauma due to tagging. However, if this is not the reason, then this behavioural pattern is different than that of many other pelagic species. Vertical excursions that are deep during the day and near the surface at night are characteristic of swordfish (Carey and Robison, 1981), blue and mako sharks (Carey and Scharold, 1990), Pacific blue marlin (Holland *et al.*, 1990a), yellowfin and bigeye tuna (Holland *et al.*, 1990b). Changes in depth by these species allows them to feed on mesopelagic organisms found in deep waters

alta en su cuerpo. ¿Podría ser ésta la razón por la cual las cornudas realizaron movimientos verticales? Los atunes poseen un sistema de intercambio de temperatura para conservar el calor corporal. Ya que el tiburón martillo carece de este sistema, es posible que necesite regresar a la superficie para recuperar el calor perdido después de los buceos profundos para alimentarse de sus presas. Esta razón se ha sugerido para explicar movimientos de emergencia y sumergencia de los tiburones azules (Carey y Scharold, 1990) y atunes (Holland *et al.*, 1990b). Carey y Scharold (1990) señalan una diferencia de 19° entre las temperaturas del agua de las capas superior y profunda visitadas por los tiburones azules (26° - 7°C), mientras que en los desplazamientos verticales de las cornudas esta diferencia fue generalmente de sólo 4° (20° - 16°C) durante la noche para el tiburón B (Fig. 11), y 7° (20° - 13°C) para el tiburón C (Fig. 13). Las excursiones verticales del tiburón D entre las 16:20 y 19:20 h, con excepción de una, ocurrieron dentro de un intervalo de temperatura de 2° (16° - 14°C; área sombreada, Fig. 10). Esto sugiere que la causa de los movimientos verticales en el tiburón martillo no es la termorregulación. Podría ser que estos movimientos fueran para detectar un cambio de intensidad geomagnética por unidad de distancia, la cual aumenta conforme al fondo rocoso magnético es más cercano (observación personal).

Los movimientos verticales de los tiburones martillo fueron más profundos durante la noche que durante el día. No se puede asegurar que tal comportamiento sea resultado de un trauma ocasionado por la técnica de marcaje. Pero si esa no es la razón, esto constituye un patrón de conducta diferente al de muchas otras especies pelágicas. Excursiones verticales profundas durante el día y casi superficiales en la noche son características en el pez espada (Carey y Robison, 1981), tiburones azul y mako (Carey y Scharold, 1990), marlín azul (Holland *et al.*, 1990a), y atunes aleta amarilla y patudo (Holland *et al.*, 1990b). El cambio en la profundidad de estas especies les permite alimentarse de organismos mesopelágicos que se encuentran en aguas profundas durante el día y más superficiales durante la noche. pero el movimiento inverso de las cornudas no se puede explicar con base en lo anterior, por esta razón debe existir un

during the day and closer to the surface at night. However, the inverse movement of the scalloped hammerheads cannot be explained based on the above, and so there must be a different reason, such as the aforementioned hypothesis of geomagnetic orientation.

The cycle of activity of this species is of relevance with regards to the fishing gear used in its capture. At EBES, where local fishermen use longlines to catch scalloped hammerheads, the sharks are not lured by the bait during the day. It has been noted that they do not feed on the fishes found there (Klimley and Nelson, 1981). The presence of pelagic fishes and squid in the stomach contents of sharks indicates that they feed away from EBES during the night (Klimley, 1987; Galván-Magaña *et al.*, 1989), but the positions of the sharks nearest the surface are considerably below the surface gillnets. Individuals of this species could be caught in a short period either when they leave or return to the seamount at dusk or dawn respectively, which is when they start or stop feeding. With greater knowledge of the horizontal and vertical movements of the scalloped hammerhead shark, better fishing gear could be designed and the schools of this shark could be more easily located.

ACKNOWLEDGEMENTS

Several researchers from the United States and Mexico participated in the tracking activities carried out in this study. From the USA: S. Butler, H. Kent, K. Milligan, V. Welch, W. Strong, A. Stull, J. McKibben, P. Klimley, S. Mock, P. Nelson, K. Goldman, M. Kelly, B. Shanner and L. Solís. From Mexico: E. Carreño, G. Ponce, J. Gosch, M. Ross, S. Bermejo, E. Goena, C. Alonso, A. Moehl, S. Lluch, E. Noltenius, P. Pérez and A. Torres. Cheryl Quantz helped in the graphic analysis of the telemetric trackings. We thank the Dirección General de Oceanografía Naval of the Secretaría de Marina and the Instituto Nacional de la Pesca of the Secretaría de Pesca (Mexico) for granting the necessary permits to conduct this study and the support given to I. Cabrera and J. Castillo that allowed them to participate in the research cruises, the analysis of the data and the elaboration of the present manuscript. M. Díaz helped in the translation. This work was supported by the Psychobiology and Biologi-

motivo distinto, como el propuesto por la hipótesis sobre orientación geomagnética explicada anteriormente.

El ciclo de actividad de esta especie tiene relevancia en cuanto a las artes de pesca empleadas en su captura. En el bajo donde los pescadores de la localidad colocan sus palangres para la captura de las cornudas, éstas no son atraídas por la carnada durante el día y se ha observado que no se alimentan de peces existentes en el bajo (Klimley y Nelson, 1981). La presencia de peces y calamares pelágicos en los contenidos estomacales de los tiburones indica que éstos se alimentan fuera del bajo durante la noche (Klimley, 1987 y Galván-Magaña *et al.*, 1989). Pero las posiciones de los tiburones más superficiales en esta zona se encuentran muy abajo de las redes agalleras superficiales. Individuos de esta especie podrían ser capturados en un período corto ya sea cuando salen o regresan al bajo durante el atardecer y amanecer, respectivamente, que es cuando van a alimentarse o cuando terminan de hacerlo. Un mejor conocimiento de los movimientos horizontales y verticales de los tiburones martillo permitirá diseñar mejores artes de pesca y ubicar más fácilmente los cardúmenes de éstos tiburones.

AGRADECIMIENTOS

En las intensas actividades de seguimiento llevadas a cabo durante este estudio participó un numeroso grupo de investigadores de los Estados Unidos y México. Del primer país colaboraron S. Butler, H. Kent, K. Milligan, V. Welch, W. Strong, A. Stull, J. McKibben, P. Klimley, S. Mock, P. Nelson, K. Goldman, M. Kelly, B. Shanner y L. Solís. De México contribuyeron E. Carreño, G. Ponce, J. Gosch, M. Ross, S. Bermejo, E. Goena, C. Alonso, A. Mochl, S. Lluch, E. Noltenius, P. Pérez y A. Torres. Cheryl Quantz ayudó en el análisis gráfico de los seguimientos telemétricos. Se agradece a la Dirección General de Oceanografía Naval de la Secretaría de Marina y al Instituto Nacional de la Pesca, de la Secretaría de Pesca de los Estados Unidos Mexicanos el haber proporcionado los permisos correspondientes para llevar a cabo esta investigación y el apoyo brindado a I. Cabrera y J. Castillo para participar en los cruceros de investigación, el análisis de la información colectada y la elaboración del presente manuscrito. M. Díaz ayudó en la traducción.

cal Oceanography Programs of the National Science Foundation (USA) through grants BNS-84-19076 and BNS-87-08304.

English translation by Christine Harris.

Este estudio se llevó a cabo con becas proporcionadas por *Psychobiology and Biological Oceanography Programs* de la *National Science Foundation* de los Estados Unidos de Norteamérica, BNS-84-19076 y BNS-87-08304.

REFERENCIAS

- Carey, F.G. and Robison, B.H. (1981). Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. **Fish. Bull.**, 79: 277-292.
- Carey, F.G. and Scharold, J.V. (1990). Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course. **Mar. Biol.**, 106: 329-342.
- Carey, F.G., Kanwisher, J.W., Brazier, O., Gabrielson, G., Casey, J. and Pratt, H.L. (1982). Temperature and activities of a white shark, *Carcharodon carcharias*. **Copeia**, 1982: 254-260.
- Cigas, J. and Klimley, A.P. (1987). A micro-computer interface for decoding telemetry data and displaying them numerically and graphically in real time. **Behav. Res. Meth. Instr. Comp.**, 19: 19-25.
- Fisher, R.L., Rustnak, G.A. and Shepard, F.P. (1964). Chart 1: Submarine topography of the Gulf of California. **Am. Ass. Pet. Geol. Mem.** Insert.
- 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. **Calif. Fish and Game**, 75(2): 74-84.
- Hamilton III, W.J. and Watt, K.E.F. (1970). Refuging. In: R.F., Johnson, P.W. Frank and Michener, C.D. (eds.), **Annual Review of Ecology and Systematics**. Vol. 1, Annual Reviews, Inc. Palo Alto, pp. 263-287.
- Hobson, E.S. (1973). Diel feeding migrations in tropical reef fishes. **Helg. Meeres.**, 24: 361-370.

- Holland, K., Brill, R. and Chang, R.K.C. (1990a). Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. **Fish. Bull.**, 88: 397-402.
- Holland, K., Brill, R. and Chang, R.K.C. (1990b). Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. **Fish. Bull.**, 88: 493-507.
- Hurn, J. (1989). **GPS. Trimble Navigation, Sunnyvale.**
- Johnson, R.H. (1978). **Sharks of Polynesia.** Les Editions de Pacifique, Papeete.
- Jolley, J.W. and Irby, E.W. (1979). Survival of tagged and released Atlantic sailfin (*Istiophorus platypterus*: Istiophoridae) determined with acoustical telemetry. **Bull. Mar. Sci.**, 29(2): 155-169.
- Klimley, A.P. (1985). Schooling in *Sphyrna lewini*, a species with low risk of predation: a non egalitarian state. **Z. Trepsychol.**, 70: 297-319.
- Klimley, A.P. (1987). The determinants of sexual segregations in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. **Environ. Biol. Fishes**, 18: 27-40.
- Klimley, A.P. and Nelson, D.R. (1981). Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. **Fish. Bull.**, 79(2): 356-360.
- Klimley, A.P. and Brown, S.T. (1983). Stereophotography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks. **Mar. Biol.**, 74: 175-185.
- Klimley, A.P. and Nelson, D.R. (1984). Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espíritu Santo: a refuging central-position system. **Behav. Ecol. Sociobol.**, 15: 45-54.
- Klimley, A.P. and Butler, S.B. (1988). Immigration and emigration of a pelagic fish assemblage to seamounts in the Gulf of California related to water mass movements using satellite imagery. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, 49: 11-20.
- 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. **J. Fish Biol.**, 33: 751-761.
- Landesman, J.G. (1984). Horizontal and vertical movements and seasonal population shifts in the blue shark, *Prionace glauca*, near Santa Catalina Island, California. Masters thesis, **California State University, Long Beach.**
- Laurs, R.M., Yuen, H.S.H. and Johnson, J.H. (1977). Small scale movements of albacore, *Thunnus alalunga*, in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. **Fish. Bull.**, 57: 61-85.
- McLaughlin, R.H. and O'Gower, A.K. (1971). Life history of underwater activities of a heterodont shark. **Ecol. Mongr.**, 41: 271-289.
- Quinn, T.P., Terhart, B.A. and Groot, C. (1989). Migratory orientation and vertical movements of homing adult sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in coastal waters. **Anim. Behav.**, 37: 587-599.
- Randall, J.E. (1977). Contribution to the biology of the whitetip reef shark (*Triacnodon obesus*). **Pac. Sci.**, 3: 145-164.
- Robinson, M.K. (1973). Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico. **San Diego Soc. Nat. Hist. Mem.**, 5: 1-19.
- Sciarrotta, T.C. and Nelson, D.R. (1977). Diel behavior of the blue shark, *Prionace glauca*, near Santa Catalina Island, California. **Fish. Bull.**, 75: 519-528.
- Tricas, T.C. (1979). Relationships of the blue shark, *Prionace glauca*, and its prey species near Santa Catalina Island, California. **Fish. Bull.**, 77: 175-182.
- Westerberg, H. (1982a). Ultrasonic tracking of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - I. Movements in Coastal Regions. **Inst. Freshw. Res., Drottningholm Rep.**, 60: 81-101.
- Westerberg, H. (1982b). Ultrasonic tracking of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - II. Swimming depth and temperature stratification. **Inst. Freshw. Res. Drottningholm**, 60: 102-120.
- Yuen, H.S.H. (1970). Behavior of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, as determined by tracking with ultrasonic devices. **J. Fish. Res. Bd. Canada**, 27: 2071-2079.