

**PATRONES ESPACIALES DE LAS ESPECIES EPIPELÁGICAS  
CAPTURADAS INCIDENTALMENTE EN LA PESCA DEL ATÚN SOBRE  
OBJETOS FLOTANTES, EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL**

**SPATIAL PATTERNS OF THE EPIPELAGIC SPECIES CAUGHT  
INCIDENTALLY IN THE TUNA FISHERY ON FLOATING OBJECTS,  
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

Rafael Solana-Sansores<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California  
Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada  
Ensenada, C.P. 22860, Baja California, México  
E-mail: solanar@inp.semarnap.gob.mx; solana@faro.ens.uabc.mx

<sup>2</sup> Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún  
y de Protección de Delfines, PNAAPD-FIDEMAR  
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada  
Ensenada, C.P. 22860, Baja California, México

*Recibido en diciembre de 2000; aceptado en junio de 2001*

**RESUMEN**

Se analizaron los patrones espaciales de la fauna asociada con objetos flotantes en el Océano Pacífico oriental (OPO). Para ello, se calcularon diferentes índices de presencia para los grupos de especies capturados incidentalmente en lances de pesca de atún sobre objetos flotantes, utilizando la base de datos de los observadores de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (1993 a 1997). Los índices permitieron una primera agrupación de especies con respecto al porcentaje de presencia en los lances de pesca sobre objetos flotantes y al tipo de cardúmenes formados (especies solitarias o en cardúmenes). Posteriormente, de acuerdo con los grupos de especies, zona, periodo anual y tipo de objetos flotantes, se realizó una clasificación por medio del uso de diversos modelos de funciones discriminantes cuadráticas, basados en diferentes estructuras de varianzas y covarianzas. De ellos, se escogieron tres modelos para la clasificación de la fauna de acompañamiento, de acuerdo con las pruebas de razón de verosimilitud y con la reducción de la tasa de error observada. Los resultados muestran la existencia de dos zonas en el OPO, con diferente composición de grupos de especies y origen de los objetos flotantes. Las zonas tienen como frontera común la Contracorriente Ecuatorial localizada, aproximadamente, sobre los 4°N. La zona norte presenta una fauna asociada con objetos flotantes dominada por adultos y reclutas del grupo de dos especies de tiburón, el sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y el punta negra (*C. limbatus*); por reclutas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*); y, en menor proporción, por el jurel (*Seriola lalandi*). En la zona sur, por su parte, dominan los reclutas de patudo (*T. obesus*). Las dos zonas comparten fauna que sólo se encuentra lejos de la costa, como es el caso del tiburón punta blanca (*C. longimanus*).

*Palabras clave:* objetos flotantes, fauna asociada con objetos flotantes, Océano Pacífico oriental, pesca de atún, función discriminante cuadrática.

## ABSTRACT

The spatial pattern of the fauna associated with floating objects in the eastern tropical Pacific (ETP) was analyzed. Different presence indexes for the groups of species caught incidentally in log sets were estimated, using information from the Inter-American Tropical Tuna Commission database (1993–1997). These indexes allowed a preliminary grouping of species in relation to the percentage of presence in the log sets on floating objects and to school type (solitary or schooling fish). They were then classified using quadratic discriminant functions, with diverse classification criteria: zone, annual period, groups of species and type of floating object. The models were based on several variance and covariance matrices. Three models were selected to classify the associated fauna, using the likelihood ratio test and the reduction observed in the error rates. The results show two zones in the ETP with different composition of groups of species and floating objects of different origin. The Equatorial Countercurrent, located around 4°N, is the border between these zones. The northern zone presents an associated fauna dominated by adults and recruits of the silky shark (*Carcharhinus falciformis*) and of the blacktip shark (*C. limbatus*); by recruits of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*); and, to a lesser extent, by yellowtail (*Seriola lalandi*). In the southern zone, the recruits of bigeye tuna (*T. obesus*) predominate. Both zones share fauna that is only found far from the coast, such as the whitetip shark (*C. longimanus*).

*Key words:* floating objects, species associated with floating objects, eastern tropical Pacific, tuna fishery, quadratic discriminant function.

## INTRODUCCIÓN

En la pesca de superficie del atún sobre objetos flotantes se captura un número grande de otras especies no objetivo. Entre estas especies se cuentan a los tiburones (*Carcharhinus* spp., *Sphyrna* spp., etc.), peces (*Coryphaena* spp., *Acanthocybium solandri*, etc.), aves marinas, reptiles, mamíferos marinos, etc. (Au, 1991). Además, se observan individuos reclutas de especies como los de los atunes aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y patudo (*T. obesus*). Este fenómeno de asociación de especies con objetos flotantes se ha reportado en todos los mares tropicales del mundo (Caddy y Majkowski, 1996; Gaertner y Medina, 1999; Ménard *et al.*, 2000). Por lo general, los individuos de estas especies capturados incidentalmente se devuelven al mar por no tener una demanda en el mercado o solamente se utiliza parte de ellos. Desde una perspectiva económica, esto puede ocasionar graves daños a otras pesquerías establecidas en el Pacífico oriental o a la misma pesquería.

## INTRODUCTION

Many non-targeted species are caught in the tuna fishery on floating objects. Among these species are sharks (*Carcharhinus* spp., *Sphyrna* spp., etc.), fishes (*Coryphaena* spp., *Acanthocybium solandri*, etc.), marine birds, reptiles, marine mammals, etc. (Au, 1991). Recruits of some species are also observed, such as those of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*T. obesus*). This phenomenon of fish associated with floating objects has been reported in all the tropical seas of the world (Caddy and Majkowski, 1996; Gaertner and Medina, 1999; Ménard *et al.*, 2000). In general, individuals of these species caught incidentally are thrown back into the ocean as they are not in demand or only part of them is used. Economically, this may severely damage other fisheries of the eastern Pacific or the tuna fishery itself. Ecologically, this incidental catch affects the dynamics of the populations involved.

Ecológicamente, esta captura incidental afecta la dinámica de las poblaciones involucradas.

El por qué se dan las asociaciones de las especies con los objetos flotantes es todavía una pregunta que no ha sido totalmente respondida. Varias hipótesis han surgido para responder a esta cuestión (Gooding y Magnuson, 1967; Inoue *et al.*, 1968; Batalyants, 1992; Buckley y Miller, 1994; Marsac *et al.*, 1996; Dagorn y Fréon, 1999). En cuanto a las características estructurales, una pregunta relacionada es si estas asociaciones se dan al azar en el océano o si es posible reconocer una estructura espacial delimitada, con variaciones a lo largo de un gradiente en alguna dirección y cambiante a lo largo de un año. Por ejemplo, Au (1991) menciona la existencia de ciertos patrones espaciales de las asociaciones de especies en la captura del atún, refiriéndose a ésta como una pesquería poliespecífica. Este autor comenta que existe una secuencia en la asociación de atunes, de tal forma que los atunes jóvenes tienden a ser más afines a objetos flotantes inanimados, mientras que los adultos se asocian más frecuentemente con delfines. Arenas *et al.* (1999), con el fin de observar las posibles diferencias de la diversidad entre diferentes zonas del Pacífico oriental, calcularon algunos índices de covarianza y asociación de las especies componentes de la fauna de acompañamiento. Por su parte, Solana-Sansores y Méndez-Gómez-Humarán (1996) utilizaron técnicas de agrupamiento para observar los posibles patrones de estratificación espacial de las señales (sucesos) que involucran especies asociadas con la pesca del atún. Los trabajos referidos muestran tendencias de una fuerte estratificación espacial y cambios temporales de la composición de la fauna epipelágica asociada con objetos flotantes.

En el presente trabajo se presentan los resultados de clasificar espacial y temporal-

Why these associations of species with floating objects occur is still not fully known. Several hypotheses have arisen to answer this question (Gooding and Magnuson, 1967; Inoue *et al.*, 1968; Batalyants, 1992; Buckley and Miller, 1994; Marsac *et al.*, 1996; Dagorn and Fréon, 1999). As for the structural characteristics, one question is whether these associations occur at random in the ocean or if they have a spatial structure, with variations along a gradient in some direction and shifting throughout one year. For example, Au (1991) mentions the existence of certain spatial patterns of the associations of species in the tuna catch, referring to this as a multi-specific fishery. This author reports that there is a sequence in the association of tunas: the young tunas tend to be more associated with inanimate floating objects, whereas adults are more frequently observed associated with dolphins. In order to observe the possible differences in diversity among different areas of the eastern Pacific Ocean, Arenas *et al.* (1999) calculated indexes of covariance and association of the species constituting the by-catch. On the other hand, Solana-Sansores and Méndez-Gómez-Humarán (1996) used grouping techniques to observe the possible spatial stratification patterns of the signals (events) that involve species associated with the tuna fishery. These studies show tendencies of a strong spatial stratification and temporal changes in the composition of the epipelagic fauna associated with floating objects.

This study aims to present the results of the spatial and temporal classification of the associated fauna in the tuna fishery on floating objects, according to the type of floating object and the dynamics of their fishery.

mente a la fauna de acompañamiento en la pesca superficial del atún sobre objetos flotantes, de acuerdo con el tipo de objeto flotante y la dinámica de la pesca sobre ellos.

## MÉTODOS

### Tamaño de muestra y análisis exploratorio de datos

En el presente trabajo se define a los objetos flotantes como todo aquel material que se encuentra en la superficie del mar, cuyo movimiento depende de la dinámica de las corrientes marinas o presenta una locomoción lenta. Son de diferentes formas y pueden ser agrupadas en cuatro categorías (Solana-Sansores, 1999): objeto flotante de origen natural terrestre (OFTE), como árboles, ramas, etc.; objeto flotante de origen natural marino (OFMA), como cadáveres de ballenas, tiburones ballena, etc.; objetos flotantes de origen antropogénico (OFA), como basura, materiales de pesca, etc.; y dispositivos agregadores de peces (DAP), que son puestos en el mar específicamente para la pesca de atún en la superficie.

La información analizada proviene de la base de datos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), de 1993 a 1997. Ésta es recolectada por observadores científicos a bordo de embarcaciones que pescan atún en la superficie y que faenan en el Océano Pacífico oriental. El total de registros (lances pesqueros sobre objetos flotantes) seleccionados en ese periodo fue de 14,569. De cada registro se obtuvo el número de individuos de las diferentes especies capturadas en el lance. Cuando la identificación taxonómica de una especie no fue posible, o ésta fue poco confiable, el número registrado correspondió al número de organismos pertenecientes a un grupo. Por ejemplo, los tiburones sedoso y punta negra (*Carcharhinus* spp.) se agruparon en una sola

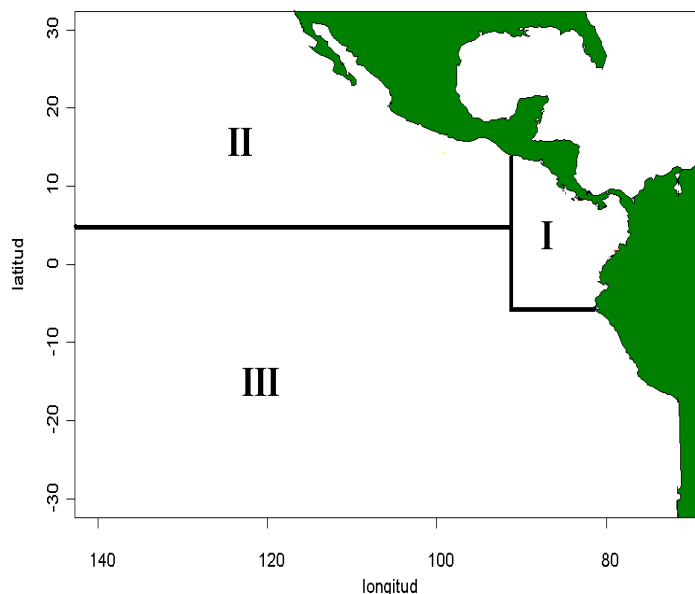
## METHODS

### Sample size and exploratory data analysis

In this work, a floating object is defined as any material found on the sea surface whose movement depends on the dynamics of the marine currents or that moves slowly. These different objects can be grouped into four categories (Solana-Sansores, 1999): floating objects of terrestrial origin (FOTE), such as trees, branches, etc.; floating objects of marine origin (FOMA), such as whale carcasses, whale sharks, etc.; floating objects of anthropogenic origin (FOA), such as rubbish, fishing materials, etc.; and fish aggregating devices (FAD), which are introduced into the sea specifically for the fishing of tuna at the surface.

The information analyzed was obtained from the Inter-American Tropical Tuna Commission (ITTC) database, for 1993 to 1997. It is collected by scientific observers aboard surface tuna fishing boats working in the eastern Pacific Ocean. The total number of records (log sets on floating objects) selected for that period was 14,569. Each record provided the number of individuals of the different species caught in the set. When the taxonomic identification of a species was not possible, or unreliable, the number recorded corresponded to the number of organisms belonging to a group. For example, the silky and blacktip sharks (*Carcharhinus* spp.) were grouped together into a single category called silky sharks. Each record also included the date of the set, geographical position, type of floating object and other environmental variables and characteristics of the set.

With the database it was possible to distinguish, for some species, individuals of different size groups. In these cases, species or groups of species were grouped into small-sized individuals (recruits) or medium-



**Figura 1.** Zonas de las diferentes clases de objetos flotantes observados en el Océano Pacífico oriental. I. Zona costera, con amplia influencia de la costa americana debido a la descarga de ríos que arrastran objetos flotantes de origen terrestre. II. Zona oceánica norte, relacionada estrechamente con la zona I y dominada por la presencia de objetos flotantes de origen terrestre y de origen antropogénico. III. Zona oceánica sur, dominada por la presencia de dispositivos para agregar peces.

**Figure 1.** Zones of the different types of floating objects observed in the eastern Pacific Ocean. I. Coastal zone, strongly influenced by the American coast due to river runoff that carries floating objects of terrestrial origin. II. Northern oceanic zone, closely related to zone I and dominated by the presence of floating objects of terrestrial and anthropogenic origin. III. Southern oceanic zone, dominated by the presence of fish aggregating devices.

categoría denominada tiburones sedoso. En cada registro se añadió la información de la fecha del lance, posición geográfica, tipo de objeto flotante y otras variables ambientales y características del lance.

La base de datos permite distinguir, para algunas especies, individuos de diferentes grupos de tallas. Para estos casos, a las especies o grupos de especies se les pudo agrupar en individuos de tallas pequeñas (reclutas) e individuos de tallas medianas y grandes (adultos). Por ejemplo, la captura de atunes aleta amarilla (*T. albacares*) y patudo (*T.*

and large-sized individuals (adults). For example, yellowfin tuna (*T. albacares*) and bigeye tuna (*T. obesus*) that do not attain a size larger than 60 cm were considered recruits based on their life cycle. These individuals were considered part of the associated fauna.

An exploratory analysis was made of the presence of the different species and groups in each set of the sample. This was done for the total of sets, per zone (fig. 1), per quarter and per type of floating object, in order to determine the frequency of some

*obesus*), que no alcanzaron una talla superior a los 60 cm, se les consideró individuos reclutas de acuerdo con su ciclo de vida. A estos individuos se les consideró como parte de la fauna de acompañamiento.

Se realizó un análisis exploratorio de la presencia de las diferentes especies y grupos en cada lance pesquero de la muestra. Esto fue hecho para el total de los lances, por zona (fig. 1), por trimestre del año y por tipo de objeto flotante. El análisis permitió conocer la frecuencia de alguna especie (o grupo) en los lances de pesca sobre objetos flotantes.

Se obtuvieron cinco índices empíricos de distribución y abundancia de cada especie (o grupo) presente en el lance: (1) número de ejemplares por lance, (2) tasa de captura, (3) número de individuos con respecto a la captura total, (4) índice de Lloyd (*mean crowding*) y (5) índice de parchado. Estos índices permitieron establecer un marco de comparación por especie y grupo, en cuanto a su presencia en una zona particular, época del año, etc. Asimismo, permitieron reconocer diferentes comportamientos de agrupación en cada especie (o grupo). Sólo se calcularon tres índices de presencia por lance: presencia/ausencia, tasas de captura y el número de individuos con respecto a la captura principal. Los índices de agrupamiento de Lloyd y de parchado (Young y Young, 1998), conjuntamente con los anteriores, se calcularon en cuadrantes de un grado. Los valores resultantes de todos los índices fueron analizados espacialmente, a través de mapas trimestrales en cuadrantes de un grado.

### Clasificación

De los análisis sobre los índices de presencia/ausencia, tasas de captura (Lawson, 1997) y de aglomeración, se obtuvo una primera clasificación de las especies. La clasificación se basó en dos criterios, según: (A) la

especies (or group) in the log sets on floating objects.

Five empirical distribution and abundance indexes of each species (or group) present in the set were obtained: (1) number of organisms per set, (2) catch rate, (3) number of individuals relative to the total catch, (4) Lloyd's index (mean crowding), and (5) index of patchiness. With these indexes it was possible to establish a reference framework for a species or group, regarding its presence in a particular zone, season, etc. It was also possible to determine different grouping behaviors for each species (or group). Only three presence indexes were calculated per set: presence/absence, catch rates and number of individuals relative to the main catch. Lloyd's index and the index of patchiness (Young and Young, 1998), together with the previous three, were calculated in one-degree quadrants. The resulting values of all the indexes were analyzed spatially, using quarterly maps in one-degree quadrants.

### Classification

From the analyses of the presence/absence, catch rate (Lawson, 1997) and agglomeration indexes, a first classification of the species was obtained. The classification was based on two criteria, according to: (A) the presence of the species on a floating object (frequency of the species in the sets), and (B) the size of the group they form. The groups are defined as follows:

- A. (1) Very frequent species on the floating objects: present in more than 50% of the sets. (2) Frequent species: present in 30–50% of the sets. (3) Occasional species: present in 10–30% of the sets. (4) Rare species: present in less than 10% of the sets.

presencia de la especie en el objeto flotante (frecuencia de la especie en los lances) y (B) el tamaño del grupo que forman. Los grupos se definen a continuación:

A. (1) Especies muy frecuentes en los objetos flotantes: presentes en más del 50% de los lances. (2) Especies frecuentes: presentes entre el 30% y 50% de los lances. (3) Especies ocasionales: presentes entre el 10% y 30% de los lances. (4) Especies raras: presentes en menos del 10% de los lances.

B. (1) Especies en grandes grupos: tasa de captura mayor a 50 individuos, en al menos el 25% de los lances (percentil 75), y el valor del índice de Lloyd es superior a 50 en el mismo percentil. (2) Especies en grupos medianos: tasa de captura mayor o igual a 5 individuos, pero menor o igual a 50, en al menos el 25% de los lances (percentil 75), y el valor del índice de Lloyd es superior a 10 en el mismo percentil. (3) Especies solitarias o en pequeños grupos: tasa de captura en la muestra menor a 5 individuos por lance, en al menos el 25% de los lances (percentil 75), y el valor del índice de Lloyd es menor a 10 en el mismo percentil.

Con los grupos conformados se analizaron diferentes modelos de funciones discriminantes cuadráticas (Tabachnick y Fidell, 1989), partiendo de ocho diferentes estructuras de las matrices de varianzas y covarianzas (tabla 1). Los primeros seis modelos se construyen suponiendo que las matrices de varianzas y covarianzas de cada grupo son diferentes. Es decir, cada modelo es una posible variación del modelo heteroscedástico, por lo que los modelos obtenidos en cada uno de ellos es una

B. (1) Species in big groups: catch rate greater than 50 individuals, in at least 25% of the sets (percentile 75), and Lloyd's index value greater than 50 in the same percentile. (2) Species in medium-sized groups: catch rate greater than or equal to 5 individuals, but smaller than or equal to 50, in at least 25% of the sets (percentile 75), and Lloyd's index value greater than 10 in the same percentile. (3) Solitary species or in small groups: catch rate less than 5 individuals per set, in at least 25% of the sets (percentile 75), and Lloyd's index value smaller than 10 in the same percentile.

With the groups formed, different models of discriminant quadratic functions were analyzed (Tabachnick and Fidell, 1989), using eight different structures of the variance and covariance matrices (table 1). The first six models are built assuming that the variance and covariance matrices of each group are different. That is, each model is a possible variation of the heteroscedastic model; therefore, the models obtained in each one of them is a discriminant quadratic function, whose general form is as follows:

$$d_i(X) = \beta_{i0} + \beta_{i1}X + X^T\beta_{i2}X \quad (1)$$

where  $d_i(X)$  it is the  $i$ -th discriminant function, resulting from the linear combination of the explanatory variables (number of individuals of the species of the corresponding group);  $\beta_{i0}$  is the general mean value;  $\beta_{i1}$  is the vector of coefficients of the simple linear combination of the explanatory (or predictory) variables;  $\beta_{i2}$  is the vector of coefficients of the combinations of the quadratic values of the explanatory variables;  $X$  is the matrix containing the  $x_j$

función discriminante cuadrática, cuya forma general es la siguiente:

$$d_i(X) = \beta_{i0} + \beta_{i1}X + X^T \beta_{i2}X \quad (1)$$

donde  $d_i(X)$  es la  $i$ -ésima función discriminante, resultado de la combinación lineal de las variables explicativas (número de individuos de las especies del grupo correspondiente);  $\beta_{i0}$  es el valor promedio general;  $\beta_{i1}$  es el vector de coeficientes de la combinación lineal simple de las variables explicativas (o predictoras);  $\beta_{i2}$  es el vector de coeficientes de las combinaciones de los valores cuadráticos de las variables explicativas;  $X$  es la matriz que contiene los vectores  $x_j$  de las observaciones multivariadas, en este caso los lances pesqueros; y  $x_{ij}$  es el valor observado de la transformación de un índice (variable explicativa) de la especie  $j$  en el  $i$ -ésimo lance. Si las matrices de varianzas y covarianzas de los grupos son iguales, el término cuadrático (tercer término de la derecha) de la ecuación (1) es constante para todos los grupos y puede ser eliminado de la función discriminante. Éste es el caso de los modelos homoscedástico y canónico (variante del homoscedástico).

En este caso se utilizaron dos versiones de las variables explicativas. La primera se refiere al conjunto de los valores de los logaritmos de base 10 de los números de individuos capturados en el lance de cada especie más uno  $[\log_{10}(x_j + 1)]$ . El otro conjunto de variables explicativas se definió como el logaritmo de base 10 del índice del número de individuos capturados con respecto a la captura principal más uno  $[\log_{10}(n/c_j + 1)]$ . Los factores de clasificación de interés son los siguientes: zona (fig. 1); año (de 1993 a 1997); trimestre (enero a marzo, abril a junio, julio a septiembre, y octubre a diciembre); tipo de objeto flotante (OFTE, OFMA, OFA y DAP); tipo de palo (DAP y noDAP); zona/trimestre; y zona/año. Otras combinaciones como zona/objeto no

vectors of the multivariate observations, in this case the log sets; and  $x_{ij}$  is the value observed from the transformation of an index (explanatory variable) of species  $j$  in the  $i$ -th set. If the variance and covariance matrices of the groups are similar, the quadratic term (third term from the right) of equation (1) is constant for all the groups and can be eliminated from the discriminant function. This is the case of the homoscedastic and canonical models (a variant of the homoscedastic model).

In this case, two versions of the explanatory variables were used. The first one refers to the set of values of the base-10 logarithms of the number of individuals caught in the set of each species plus one  $[\log_{10}(x_j + 1)]$ . The second was defined as the base-10 logarithm of the index of the number of individuals caught relative to the main catch plus one  $[\log_{10}(n/c_j + 1)]$ . The classification factors of interest are the following: zone (fig. 1); year (from 1993 to 1997); quarter (January to March, April to June, July to September, and October to December); type of floating object (FOTE, FOMA, FOA and FAD); type of branch (FAD and non-FAD); zone/quarter; and zone/year. Other combinations such as zone/object could not be analyzed due to multicollinearity problems among the species for all the factors or due to the lack of sufficient information for some of the groups formed. However, since the areas were defined according to the presence of some type of floating object, the analysis per zone takes this combination into account.

The discriminant functions analyzed were run for each group of species. This was similar to a step-by-step discriminant function (Tabachnick and Fidell, 1989); however, in this case, the variables were introduced to the model according to the presence criteria of the species (rare, occasional, frequent and very frequent) and to the characteristic of the group formed (solitary, medium- or big-sized



**Tabla 1.** Estructura de las matrices de varianzas y covarianzas utilizadas para la modelación de los índices de presencia de especies por cuadrante a través de las funciones discriminantes cuadráticas. La estructura homoscedástica también fue utilizada en forma canónica;  $g$  = número de grupos y  $p$  = número de parámetros.

**Table 1.** Structure of the variance and covariance matrices used to model the presence indexes of species per quadrant using quadratic discriminant functions. The homoscedastic structure was also used canonically;  $g$  = number of groups and  $p$  = number of parameters.

Modelo	Estructura de la matriz de varianza/covarianza	Número de parámetros que se requieren estimar
Heteroscedástico	$\Sigma_i \neq \Sigma_j$	$\frac{g^* p^* (p + 1)}{2}$
Igual correlación	$\Sigma_i = K_i \Psi K_i$ $K_i = \text{diag}(\sigma_{i1}, \dots, \sigma_{ip})$ $\Psi$ = matriz de correlación común	$g^* p + \frac{p^* (p - 1)}{2}$
Covarianzas proporcionales	$\Sigma_i = K_i^2 \Sigma$ $K_i$ = constante de proporcionalidad (obsérvese que $K$ es redundante en un grupo; por tanto, $K_i = 1$ )	$(g - 1) + \frac{p^* (p + 1)}{2}$
Componentes principales comunes	$\Sigma_i = A \Lambda_i A$ $\Lambda_i = \text{diag}(\lambda_{i1}, \dots, \lambda_{ip})$ $A$ = matriz de los componentes principales comunes	$g^* p + p^* p$
Grupo esférico	$\Sigma_i = \text{diag}(\sigma_{i1}^2, \dots, \sigma_{ip}^2)$	$g^* p$
Esférico	$\Sigma_i = \Sigma = \text{diag}(\sigma_1^2, \dots, \sigma_p^2)$	$p$
Homoscedástico	$\Sigma_i = \Sigma$	$\frac{p^* (p + 1)}{2}$

podieron ser analizadas por problemas de multicolinealidad entre las especies para todos los factores o por carecer de suficiente información en algunos de los grupos formados. Sin embargo, dado que las zonas se definieron de acuerdo con la presencia de algún tipo de objeto flotante, el análisis por zona contempla esta combinación.

Las funciones discriminantes analizadas se corrieron para cada grupo de especies. Esto fue semejante a una función discriminante paso a paso (Tabachnick y Fidell, 1989); sin embargo, a diferencia de aquella, en este caso se introdujeron las variables al modelo con respecto a criterios de presencia de la especie (raras, ocasionales, frecuentes y muy frecuentes) y característica del grupo formado (solitario, agrupaciones medianas o grandes), o la combinación de ambos. Además de estos grupos, se adicionó el grupo formado por los individuos denominados reclutas, los cuales son presentados en la base de datos como organismos pequeños. En total, fueron escogidos un número de 12 posibles combinaciones, denominadas modelo 1 a modelo 12. De acuerdo con el número de variables explicativas, número de criterios de clasificación, total de estructuras de varianzas y covarianzas y número de grupos de especies, se corrieron un total de 1344 modelos discriminantes.

La estimación de los coeficientes de los modelos fue a través de la descomposición espectral de las matrices de varianzas y covarianzas de cada grupo. De acuerdo con la estructura de la varianza y covarianza, el procedimiento de estimación fue diferente. Para las estructuras homoscedástica y heteroscedástica, los parámetros fueron derivados desde la función de distribución lognormal a través de estimadores de máxima verosimilitud. Para las estructuras de igual correlación y covarianzas proporcionales, bajo el supuesto de multinormalidad, las estimaciones de máxima verosimilitud se obtienen de manera iterativa para

groups), or the combination of both. Besides these groups, the group formed by the individuals called recruits was included, which are treated in the database as small organisms. In total, 12 possible combinations were selected and called model 1 to model 12. According to the number of explanatory variables, the number of classification criteria, the total of variance and covariance structures and the number of groups of species, a total of 1344 discriminant models were run.

The coefficients of the models were calculated with the spectral decomposition of the variance and covariance matrices of each group. According to the variance and covariance structure, the method of calculation was different. For the homoscedastic and heteroscedastic structures, the parameters were derived from the lognormal distribution function using maximum likelihood estimators. For the structures with the same correlation and proportional covariances, assuming multinormality, the estimates of maximum likelihood are obtained iteratively for the calculation of the  $K_i$  (see table 1). Likewise, the coefficients of the model of principal components are calculated using the spectral decomposition of the variance and covariance matrix where the eigenvalues and eigenvectors are obtained. Finally, Choleski's matrix decomposition was used for both the structure of spherical groups and the spherical structure (Press *et al.*, 1992).

The next step in the calculation of the parameters in each model was to select the best models that explain the classification of the log sets, in relation to the different factors. According to the sequence used, the selection criteria were: (1) multicollinearity tests of the variables involved (transformed indexes of the species); (2) likelihood ratio tests, using the parsimony criterion; and (3) decrease in the error rates of the cross-validation tests and classification tables.

el cálculo de las  $K_i$  (ver tabla 1). Asimismo, los coeficientes del modelo de componentes principales son estimados a través de la descomposición espectral de la matriz de varianza y covarianza en donde se obtienen los valores y vectores latentes. Por último, tanto para la estructura de grupos esféricos como para la estructura esférica, se utilizó la descomposición matricial de Choleski (Press *et al.*, 1992).

El siguiente paso de la estimación de los parámetros en cada modelo fue seleccionar el(los) mejor(es) modelo(s) que expliquen la clasificación de los lances de pesca, con respecto a los diferentes factores. Los criterios de selección, de acuerdo con la secuencia utilizada, fueron los siguientes: (1) pruebas de multicolinealidad de las variables involucradas (índices transformados de las especies); (2) pruebas de razón de verosimilitud, bajo el criterio de parsimonia; y (3) disminución de las tasas de error en las pruebas de validación cruzada y tablas de clasificación.

### Predicción y análisis de error en las funciones discriminantes cuadráticas seleccionadas

Supóngase que un lance ( $x_j$ ) es obtenido aleatoriamente, donde se miden valores de presencia (número de individuos o n/c) de las especies ( $x_j = \{x_1, \dots, x_p\}$ ). Si se tienen  $g$  grupos, por ejemplo, de zonas, con densidad probabilística, entonces:

$$f_x(x_j) = \sum_{i=1}^g \pi_i f_i(x_j) \quad (2)$$

donde  $\pi_i$  es la probabilidad mezclada y  $f_i(x_j)$  es la función de la observación en cada grupo.

### Prediction and error analysis in the discriminant quadratic functions selected

Suppose that a set ( $x_j$ ) is obtained at random, in which the presence values (number of individuals or n/c) of the species are measured ( $x_j = \{x_1, \dots, x_p\}$ ). If there are  $g$  groups, for example, of zones, with probabilistic density, then:

$$f_x(x_j) = \sum_{i=1}^g \pi_i f_i(x_j) \quad (2)$$

where  $\pi_i$  is the mixed probability and  $f_i(x_j)$  is the function of the observation in each group. A membership probability of  $x_j$  to group  $g$  is given as follows:

$$\tau_i(x_j) = \frac{(\pi_i f_i(x_j))}{g \sum_{k=1}^g \pi_k f_k(x_j)} \quad (3)$$

The optimum rule is to assign observation  $x_j$  to group  $k$  if  $\pi_k(x_j) = \max(\tau(x_j))$ . This was the criterion used to predict (or assign) an observation (set) to a group. The sampling outline for the training data was proportional to the size of the group.

## RESULTS

### Exploratory data analysis

The basic statistics of the presence of a species in sets on floating objects, total, per zone and per type of floating object are given in table 2. The most frequent species (or groups) in the sets were the dolphinfishes (*Coryphaena* spp.), wahoo (*Acanthocybium solandri*), recruits of tuna species (*Thunnus albacares*

**Tabla 2.** Porcentaje de lances en el Océano Pacífico oriental (1993–1997), en la muestra con captura incidental de las especies asociadas con la pesca de atún sobre objetos flotantes, clasificados por zona y tipo de objeto flotante: OFTE = objeto flotante de origen terrestre, OFMA = de origen marino, OFA = de origen antropogénico y DAP = dispositivos agregadores de peces.

**Table 2.** Percentage of sets in the eastern Pacific Ocean (1993–1997), in the sample with incidental catch of the species associated with the tuna fishery on floating objects, classified by area and type of floating object: OFTE = floating object of terrestrial origin, OFMA = of marine origin, OFA = of anthropogenic origin and DAP = fish aggregating devices.

Grupo y nombre científico	% de lances con presencia de la especie	Zona I	Zona II	Zona III	OFTE	OFMA	OFA	DAP
<b>Reclutas</b>								
<i>Thunnus albacares</i>	35.0	38.0	35.0	34.0	33.0	34.0	36.0	35.0
<i>Thunnus obesus</i>	32.0	32.0	38.0	33.0	22.0	30.0	28.0	35.0
<i>Coryphaena</i> spp.	8.0	9.0	10.0	8.0	10.0	9.0	10.0	8.0
<i>Acanthocybium solandri</i>	2.0	2.0	4.0	1.0	2.0	1.0	3.0	1.0
<i>Carcharhinus falciformis</i>	11.0	21.0	32.0	7.0	17.0	3.0	15.0	10.0
<b>Marlines y peces pico</b>								
<i>Makaira mazara</i>	12.0	13.0	10.0	12.0	13.0	8.0	12.0	12.0
<i>Makaira indica</i>	9.0	10.0	10.0	8.0	8.0	7.0	10.0	9.0
<i>Tetrapturus audax</i>	3.0	3.0	3.0	2.0	3.0	4.0	4.0	2.0
<i>Istiophorus platypterus</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Xiphias gladius</i>	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
<i>Tetrapturus angustirostris</i>	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
<b>Otros peces</b>								
<i>Coryphaena</i> spp.	89.0	88.0	92.0	90.0	88.0	89.0	89.0	89.0
<i>Acanthocybium solandri</i>	76.0	74.0	80.0	76.0	68.0	73.0	73.0	77.0
<i>Elagatis bipinnulata</i>	19.0	20.0	21.0	18.0	12.0	16.0	17.0	19.0
<i>Seriola lalandi</i>	11.0	11.0	13.0	12.0	7.0	8.0	10.0	12.0
Balistidae	38.0	43.0	38.0	36.0	32.0	30.0	34.0	39.0
<b>Tiburones y rayas</b>								
<i>Carcharhinus longimanus</i>	23.0	20.0	27.0	24.0	22.0	22.0	21.0	24.0
<i>Sphyrna</i> spp.	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	9.0	7.0	7.0
<i>Carcharhinus falciformis</i>	18.0	39.0	43.0	41.0	47.0	41.0	40.0	41.0
<i>Dasyatis</i> spp.	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0
Mobulidae	2.0	20.0	17.0	17.0	2.0	2.0	2.0	1.0

Una probabilidad de membresía de  $x_j$  al grupo  $g$  viene dada como sigue:

$$\tau_i(x_j) = \frac{(\pi_i f_i(x_j))}{\sum_{k=1}^g \pi_k f_k(x_j)} \quad (3)$$

La regla óptima es asignar a la observación  $x_j$  al grupo  $k$  si  $\pi_k(x_j) = \max(\tau(x_j))$ . Éste fue el criterio utilizado para la predicción (o asignación) de una observación (lance) a un grupo. El esquema de muestreo para los datos de entrenamiento fue con proporción al tamaño del grupo.

## RESULTADOS

### Análisis exploratorio de datos

En la tabla 2 se presentan las estadísticas básicas de la presencia de una especie en los lances sobre objetos flotantes, total, por zona y por clase de objeto flotante. Las especies (o grupos) más frecuentes en los lances fueron el dorado (*Coryphaena* spp.), el peto o wahoo (*Acanthocybium solandri*), reclutas de especies de atunes (*Thunnus albacares* y *T. obesus*) y el grupo de tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis* y *C. limbatus*). El porcentaje se mantuvo en un nivel semejante por zona y por tipo de objeto flotante. La excepción a esto fueron los reclutas del grupo de tiburón sedoso, los cuales se presentan en 32% de los lances realizados en la zona II, mientras que solamente aparecen en 7% de ellos en la zona III. Los peces de la familia Balistidae se observaron en más del 40% de los lances; sin embargo, debido a que la lista de especies de esta familia asociada con objetos flotantes puede ser grande (ver, por ejemplo, Bailey *et al.*, 1996; Parin y Fedoryako, 1999), no es posible afirmar que una sola especie de esta familia es dominante

and *T. obesus*) and the silky-shark group (*Carcharhinus falciformis* and *C. limbatus*). The percentage was similar per zone and type of floating object, except for the recruits of the silky-shark group, which were present in 32% of the sets carried out in zone II, but only in 7% of the sets in zone III. The fish of the family Balistidae were observed in more than 40% of the sets; however, because the list of the species of this family associated with floating objects is long (see, for example, Bailey *et al.*, 1996; Parin and Fedoryako, 1999), it is not possible to state that a single species of this family is dominant in all the zones, quarters or types of floating objects.

The proportion of size groups (small, medium and large) of the species that occurred most frequently is shown in table 3. The most frequent species in the sets were the dolphinfishes (*Coryphaena* spp.), the wahoo (*Acanthocybium solandri*), the yellowtail (*Seriola lalandi*), the rainbow runner (*Elagatis bipinnulata*) and the silky-shark group (*Carcharhinus falciformis* and *C. limbatus*). These species (or groups) are caught in similar percentages of individuals of the three size groups. For example, the small individuals of dolphinfish comprised 27% of the total incidental catch of that species; the medium-sized individuals, 45%; and the big ones, 28%. In the same order, the individuals of the silky-shark group comprised 19%, 41% and 40%, while those of the yellowtail comprised 35%, 49% and 17%, respectively. This is not observed in species of the marlin group, where most of the individuals are large, according to the scale used in the source of information. On the other hand, the rays (*Dasyatis* spp.) and mantas (Mobulidae: *Manta* spp. and *Mobula* spp.) present a high percent of small individuals (according to the measurement scale mentioned). In these last groups, the number of individuals for the whole period covered is not greater than 600.

**Tabla 3.** Porcentaje de tallas de individuos (en clases de centímetros) de las especies que frecuentemente son capturados en lances de pesca sobre objetos flotantes, en el Océano Pacífico oriental (1993–1997).

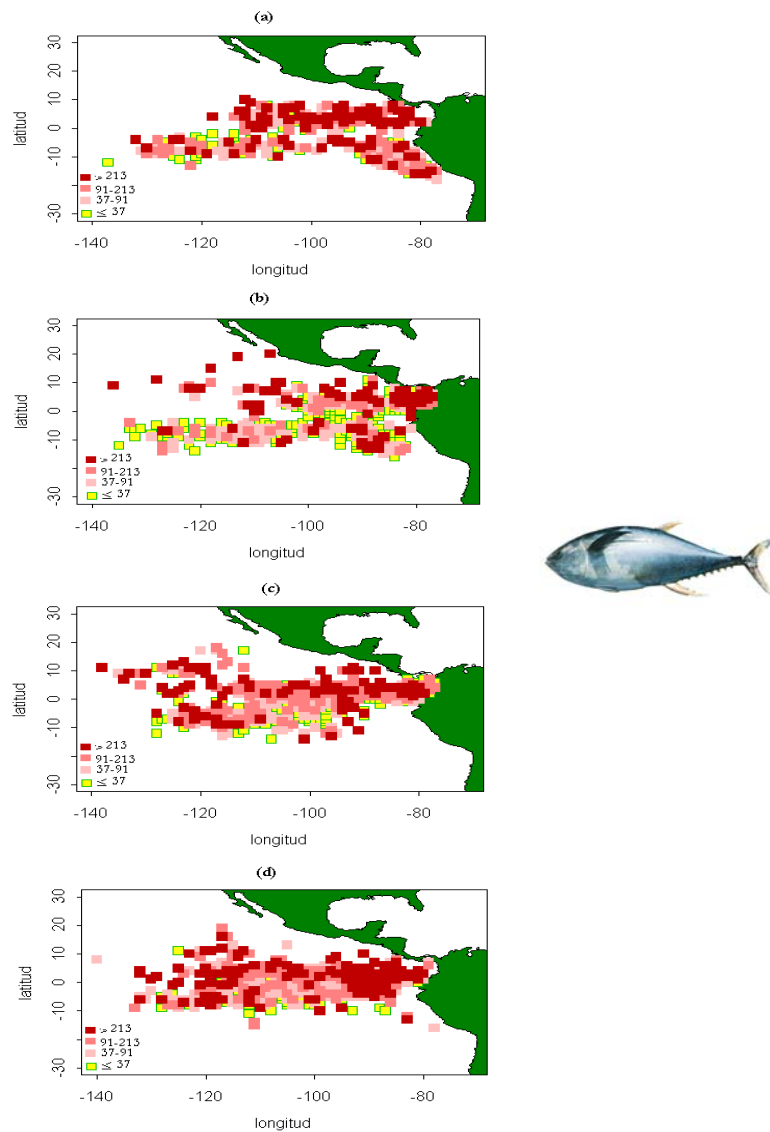
**Table 3.** Percentage of the sizes of individuals (in classes of centimeters) of the species that are frequently caught in log sets on floating objects, in the eastern Pacific Ocean (1993–1997). The number of fish in the sample is given in the last column.

Grupo y nombre científico	% de tallas en la captura			No. de peces en la muestra
	Pequeños < 90 cm	Medianos 90–150 cm	Grandes >150 cm	
<b>Otros peces</b>				
<i>Coryphaena</i> spp.	27.0	45.0	28.0	602,310
<i>Acanthocybium solandri</i>	18.0	32.0	50.0	278,680
<i>Elagatis bipinnulata</i>	16.0	55.0	29.0	19,928
<i>Seriola lalandi</i>	35.0	49.0	17.0	23,715
<b>Tiburones y rayas</b>				
<i>Carcharhinus longimanus</i>	11.0	49.0	38.0	20,385
<i>Sphyrna</i> spp.	1.0	10.0	89.0	711
<i>Carcharhinus falciformis</i> y <i>C. limbatus</i>	19.0	41.0	40.0	27,493
Mobulidae	33.0	25.0	42.0	92

en todas las zonas, trimestres o tipo de objetos flotantes.

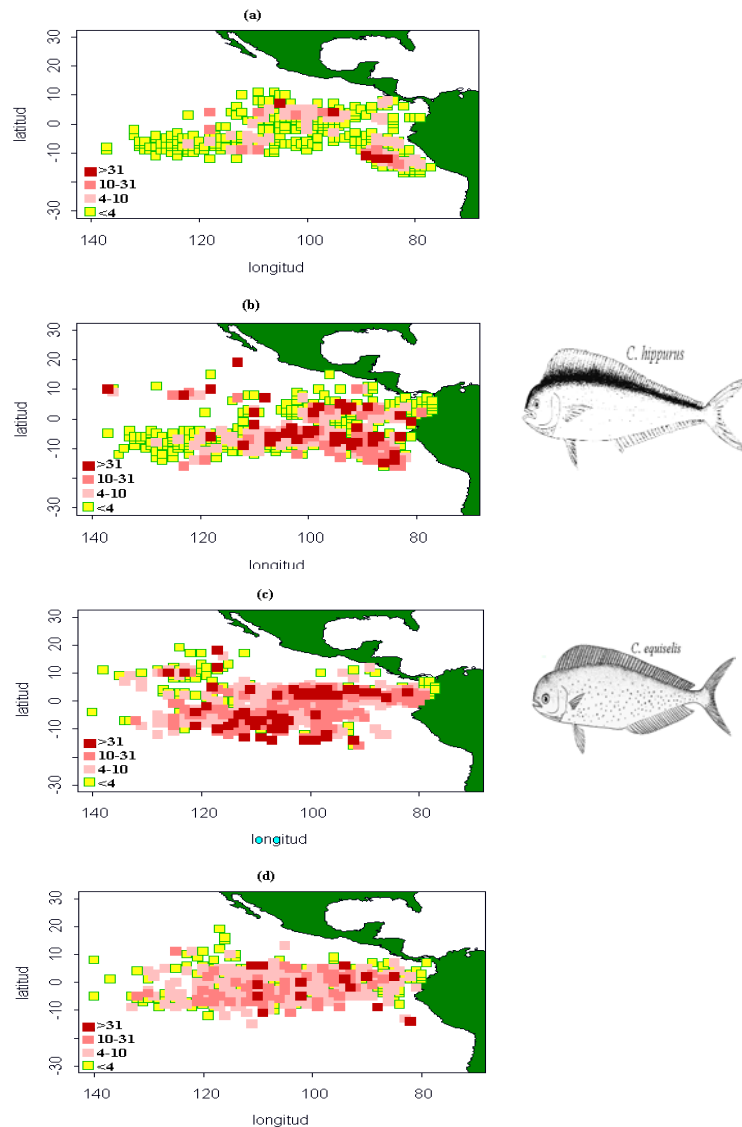
La proporción de grupos de tallas (pequeños, medianos y grandes) de las especies con mayor presencia se muestran en la tabla 3. Las especies más frecuentes en los lances son el dorado (*Coryphaena* spp.), el peto o wahoo (*Acanthocybium solandri*), el jurel (*Seriola lalandi*), el salmonete (*Elagatis bipinnulata*) y el grupo de tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis* y *C. limbatus*). Estas especies (o grupos) son capturadas en porcentajes semejantes de individuos de los tres tipos de tallas. Por ejemplo, los individuos pequeños de dorado representaron el 27% de la captura incidental total de esa especie, los medianos el 45% y los grandes el 28%. En ese mismo orden, los individuos del grupo de tiburón sedoso representaron el 19%, 41% y 40%, mientras que la captura del jurel se repartió en 35%, 49% y 17%, respectivamente. Esto no se observa en especies del grupo de los marlines, en donde la mayoría de los individuos son de tamaño

As an example of the spatial patterns of the catch rates, maps are presented of the distribution, per quarter, of this index for the recruits of yellowfin tuna (fig. 2), the dolphinfishes (fig. 3), and the group of silky sharks (fig. 4). The quadrants north of the Equator present the highest values of the indexes for the yellowfin tuna recruits (*T. albacares*), in all the quarters. Note that during the second quarter, there is a concentration near the coast of Central America and as of this period, the quadrants with higher concentration extend westwards. The group of the dolphinfishes (*Coryphaena* spp.) has a very wide distribution (fig. 3); however, during the second and third quarters it shows greater concentration in two areas: one along the Equator and the other further south. Like the dolphinfishes, the group of silky sharks (*C. falciformis* and *C. limbatus*) occurs in the entire area covered by the tuna fishery on floating objects. However, in this group the spatial pattern shows a preference to remain in latitudes north of the Equator. In the



**Figura 2.** Patrones espaciales de las tasas de captura de reclutas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) por trimestre, de 1993 a 1997: **(a)** enero a marzo, **(b)** abril a junio, **(c)** julio a septiembre y **(d)** octubre a diciembre. La escala de sombreado representa el número de individuos capturados en promedio por lance de pesca sobre objetos flotantes, en un cuadrante de un grado.

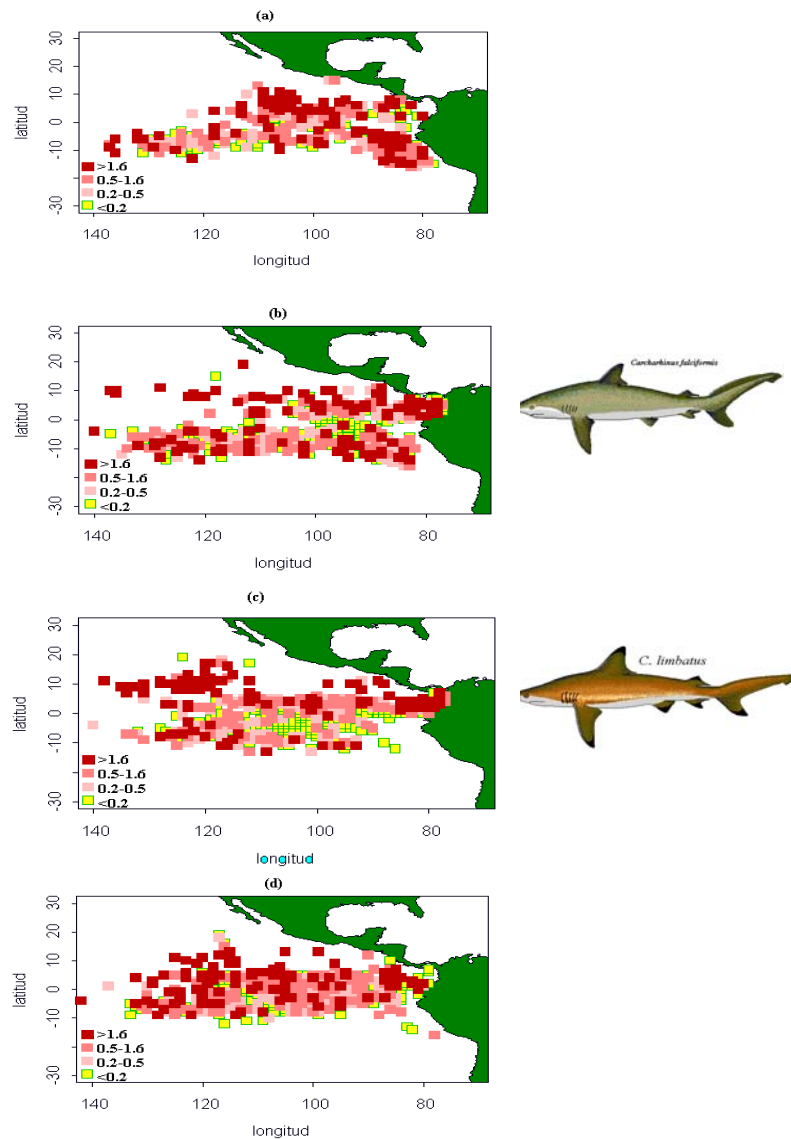
**Figure 2.** Spatial patterns of the catch rates of yellowfin tuna recruits (*Thunnus albacares*) per quarter, from 1993 to 1997: **(a)** January to March, **(b)** April to June, **(c)** July to September, and **(d)** October to December. The scale of the shaded area represents the number of individuals caught on average per log set on floating objects, in a one-degree quadrant.



**Figura 3.** Patrones espaciales de las tasas de captura del grupo de peces dorado (*Coryphaena* spp.) por trimestre, de 1993 a 1997: **(a)** enero a marzo, **(b)** abril a junio, **(c)** julio a septiembre y **(d)** octubre a diciembre. La escala de sombreado representa el número de individuos capturados en promedio por lance de pesca sobre objetos flotantes, en un cuadrante de un grado.

**Figure 3.** Spatial patterns of the catch rates of dolphinfishes (*Coryphaena* spp.) per quarter, from 1993 to 1997: **(a)** January to March, **(b)** April to June, **(c)** July to September, and **(d)** October to December. The scale of the shaded area represents the number of individuals caught on average per log set on floating objects, in a one-degree quadrant.





**Figura 4.** Patrones espaciales de las tasas de captura del grupo de tiburones sedoso (*Carcharhinus falciformis* y *C. limbatus*) por trimestre, de 1993 a 1997: **(a)** enero a marzo, **(b)** abril a junio, **(c)** julio a septiembre y **(d)** octubre a diciembre. La escala de sombreado representa el número de individuos capturados en promedio por lance de pesca sobre objetos flotantes, en un cuadrante de un grado.

**Figure 4.** Spatial patterns of the catch rates of silky and blacktip sharks (*Carcharhinus falciformis* and *C. limbatus*) per quarter, from 1993 to 1997: **(a)** January to March, **(b)** April to June, **(c)** July to September, and **(d)** October to December. The scale of the shaded area represents the number of individuals caught on average per log set on floating objects, in a one-degree quadrant.

grande, de acuerdo con la escala utilizada en la fuente de información. En caso contrario, se pueden mencionar a las rayas (*Dasyatis* spp.) y los grupos de mantas (Mobulidae: *Manta* spp. y *Mobula* spp.), que presentan un alto porcentaje de individuos pequeños (según la escala de medida mencionada). En estos últimos grupos, el número de individuos durante todo el periodo reportado no es mayor de 600.

Como ejemplo de los patrones espaciales de las tasas de captura, se presentan los mapas de las distribuciones por trimestre de este índice para los reclutas de atún aleta amarilla (fig. 2), el grupo de especies de dorado (fig. 3) y el grupo de tiburón sedoso (fig. 4). Los cuadrantes al norte del Ecuador muestran los valores más altos de los índices para los reclutas de atún aleta amarilla (*T. albacares*), en todos los trimestres. Obsérvese que durante el segundo trimestre se tiene una concentración cerca de las costas de Centroamérica y a partir de este periodo, los cuadrantes con mayor concentración se extienden hacia el oeste. El grupo de los dorados (*Coryphaena* spp.) tiene una distribución muy amplia (fig. 3); sin embargo, durante los trimestres dos y tres muestra una mayor concentración en dos franjas: una sobre el Ecuador y otra más al sur. El grupo de tiburón sedoso (*C. falciformis* y *C. limbatus*) muestra, al igual que el dorado, una presencia en toda el área abarcada por la pesquería de atún en lances sobre objetos flotantes. Sin embargo, en este grupo el patrón espacial muestra una preferencia a permanecer en latitudes al norte del Ecuador. En el segundo trimestre, se observa una mayor presencia cerca del Golfo de Panamá y las costas de Costa Rica; este grupo se mantiene durante el tercer trimestre en esta zona, pero también aparece un grupo de cuadrantes con presencia alta alrededor de los 10°N, centrado en los 120°W. En los trimestres tres y cuatro, la distribución muestra una mayor dispersión.

second quarter, a greater presence is observed near the Gulf of Panama and the Costa Rican coast. This group stays in this area during the third quarter, but there is a group of quadrants around 10°N, centered at 120°W, that also show high presence. In the third and fourth quarters, the distribution shows a wider dispersion.

The first classification of the associated fauna is obtained from the analysis of the different indexes calculated for each species (or group). This classification is presented in table 4. Regarding the presence, the following was obtained: the most frequent species were the dolphinfishes and wahoo; the frequent species were recruits of yellowfin and bigeye tunas, Balistidae and the silky-shark group; the occasional species were the rainbow runner, recruits of the silky-shark group, yellowtail and blue marlin (observe that in this group, species are present in medium groups or solitary); and the rare species were the recruits of dolphinfishes and wahoo, other marlins, hammer sharks, rays and mantas. These groups (or species) were also classified relative to the size of the group they form.

#### Classification of the groups of species

After calculating the parameters of the models of discriminant functions and applying the selection criteria of the model, three different models were selected, one for each classification criterion. These models are the following:

1. Quadratic discriminant function, with heteroscedastic variance and covariance matrix, to classify the zones (table 5): This model was based on the logarithms of the number of organisms of the silky-shark group, recruits of the silky-shark group, bigeye and yellowfin tuna recruits, whitetip shark, yellowtail and rainbow runner. The

Del análisis sobre los diferentes índices calculados para cada especie (o grupo) se desprende la primera clasificación de la fauna de acompañamiento. La clasificación se da en dos sentidos y se presenta en la tabla 4. Con respecto a la presencia se obtuvo lo siguiente: las especies muy frecuentes fueron el dorado y peto; las especies frecuentes fueron reclutas de atún aleta amarilla, reclutas de patudo, Balistidae y el grupo de tiburón sedoso; las especies ocasionales fueron salmonete, reclutas del grupo de tiburón sedoso, jurel y marlin azul (obsérvese que en este grupo se presentan especies en grupos medianos o solitarias); y las especies raras fueron reclutas de dorado, reclutas de peto, otros marlines, tiburón martillo, rayas y manta rayas (mantas). Estos grupos (o especies) también fueron clasificados con respecto al tamaño del grupo que forman.

#### Clasificación de los grupos de especies

Posterior a la estimación de los parámetros de los modelos de funciones discriminantes y a la aplicación de los criterios de selección del modelo, fueron seleccionados tres diferentes modelos, uno para cada criterio de clasificación. Estos modelos son los siguientes:

1. Función discriminante cuadrática, con matriz de varianza y covarianza heteroscedástica, para clasificar las zonas (tabla 5): Este modelo se basó en los logaritmos de los números de organismos del grupo de tiburón sedoso, reclutas del grupo de tiburón sedoso, reclutas de patudo, reclutas de atún aleta amarilla, tiburón punta blanca, jurel y salmonete. Los resultados muestran que la zona III alcanzó una tasa de error de cero, mientras que para las otras dos zonas, el valor fue mayor que 30%. Se observa que las zonas I y II muestran diferencias significativas con respecto a la presencia del grupo de tiburón sedoso y sus reclutas,

results show that zone III had a zero rate of error, whereas for the other two zones, the value was greater than 30%. Zones I and II show significant differences with respect to the presence of the silky-shark group and their recruits, the yellowtail and the rainbow runner. Also, differences of all the species between the coastal (I) and southern oceanic (III) zones were recorded. Finally, the comparison of the northern and southern oceanic zones shows that the only species for which no significant differences ( $P > 0.01$ ) were recorded is the whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*). When applying the model and the probability *a priori* to the prediction equation (equation 3), the sets carried out in the coastal zone show a high value of probability to be classified well. However, in some cases there is a probability of more than 20% of being classified within the northern oceanic zone, but probability values near zero of being classified within the southern oceanic zone. Sets reported in the northern oceanic zone have probability values of around 70% of being classified well, although in some of them probabilities of 20% to 40% exist of being classified as sets carried out in the coastal zone; however, the probability of being classified within zone III is almost zero. Lastly, the sets carried out in the southern oceanic zone (III) present values of close to 90% for good classification.

2. Quadratic discriminant function, with heteroscedastic variance and covariance matrix, to classify floating objects (table 6): Of the four classes of floating objects, FOMA are the ones that have a reduced sample size in the database. This caused high confusion values for the FOMA, so they were eliminated from the analysis. The model is the outcome of the linear and quadratic combinations of the values of the

**Tabla 4.** Clasificación preliminar de las principales especies (o grupos de especies) que se capturan incidentalmente en lances de pesca sobre objetos flotantes, con respecto a la frecuencia y al tamaño del cardumen, en el Océano Pacífico oriental (1993–1997). Especies muy frecuentes, presentes en más del 50% de los lances; especies frecuentes, presentes entre el 30% y 50% de los lances; especies ocasionales, presentes entre el 10% y 30% de los lances; y especies raras, presentes en menos del 10% de los lances (Rec. = reclutas).

**Table 4.** Preliminary classification of the main species (or groups of species) that are caught incidentally in log sets, with respect to frequency and school size, in the eastern Pacific Ocean (1993–1997). Very frequent species, found in more than 50% of the sets; frequent species, found in 30–50% of the sets; occasional species, found in 10–30% of the sets; and rare species, found in less than 10% of the sets (Rec. = recruits).

Tamaño del grupo	Especies muy frecuentes	Especies frecuentes	Especies ocasionales	Especies raras
Especies en grupos grandes <sup>1</sup>	<i>Coryphaena</i> spp.	Rec. de <i>Thunnus albacares</i> Rec. de <i>Thunnus obesus</i> Balistidae		Rec. de <i>Coryphaena</i> spp.
Especies en grupos medianos <sup>2</sup>	<i>Acanthocybium solandri</i>	<i>Carcharhinus falciformis</i>	<i>Elaeatis bipinnulata</i> Rec. de <i>Carcharhinus falciformis</i> <i>Seriola lalandi</i>	Rec. de <i>Acanthocybium solandri</i>
Especies en grupos pequeños o solitarias <sup>3</sup>			<i>Carcharhinus longimanus</i> <i>Makaira mazara</i>	<i>Makaira mazara</i> <i>Tetrapturus audax</i> <i>Istiophorus platypterus</i> <i>Xiphias gladius</i> <i>Tetrapturus angustirostris</i> <i>Sphyrna</i> spp. <i>Dasyatis</i> spp. Mobulidae

<sup>1</sup> Especies que presentan una tasa de captura mayor a 50 individuos en al menos el 25% de los lances y el índice de Lloyd es superior a 50, en el mismo percentil. / Species in large groups: species that present a catch rate greater than 50 individuals in at least 25% of the sets and the Lloyd index is greater than 50, in the same percentile.

<sup>2</sup> Especies que presentan una tasa de captura mayor a 5 individuos en al menos el 25% de los lances y el índice de Lloyd es superior a 10, en el mismo percentil. / Species in medium groups: species that present a catch rate greater than 5 individuals in at least 25% of the sets and the Lloyd index is greater than 10, in the same percentile.

<sup>3</sup> Especies que presentan una tasa de captura menor a 5 individuos en al menos el 25% de los lances y el índice de Lloyd es menor a 10, en el mismo percentil. / Species in small groups or solitary species: species that present a catch rate of less than 5 individuals in at least 25% of the sets and the Lloyd index is smaller than 10, in the same percentile.

**Tabla 5.** Resultados del modelo discriminante cuadrático para clasificar zonas del Océano Pacífico oriental tropical. En la tabla de validación cruzada (**a**), se presentan los errores de la clasificación anterior y posterior de los cuadrantes; obsérvese que después de aplicar el modelo, el error total se reduce de 31% a 15%. En los intervalos de confianza simultáneos (**b**), construidos a través del método de Sidak, el asterisco indica que existe diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) de los valores de la transformación de las tasas de captura de una especie entre las zonas comparadas en la prueba.

**Table 5.** Results of the quadratic discriminant model to classify zones in the eastern tropical Pacific Ocean. In the table of cross-validation (**a**), the errors of the classification prior to and after the quadrants are presented; note that after applying the model, the overall error decreases from 31% to 15%. In the simultaneous confidence intervals (**b**), obtained with the Sidak method, the asterisk indicates that there is significant difference ( $P < 0.01$ ) of the values of the transformation of the catch rates of a species among the zones compared in the test.

**(a) Tabla de validación cruzada**

Zonas	I	II	III	Error anterior	Error posterior
I	975	248	2,217	0.72	0.53
II	236	317	548	0.71	0.35
III	979	315	8,734	0.13	0.00
Error global				0.31	0.15

**(b) Intervalos de confianza simultáneos usando el método de Sidak**

Zona I vs zona II	Estimación	Error estándar
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	-0.39	0.03
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	-0.40	0.03
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i>	0.09	0.05
Reclutas de <i>Thunnus albacares</i>	0.13	0.06
<i>Carcharhinus longimanus</i>	-0.14	0.02
<i>Seriola lalandi</i> *	-0.21	0.03
<i>Elagatis bipinnulata</i> *	0.06	0.03
<b>Zona I vs zona III</b>		
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.04	0.01
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.16	0.01
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-0.49	0.03
Reclutas de <i>Thunnus albacares</i> *	0.69	0.03
<i>Carcharhinus longimanus</i> *	-0.16	0.01
<i>Seriola lalandi</i> *	0.10	0.01
<i>Elagatis bipinnulata</i> *	0.22	0.01
<b>Zona II vs zona III</b>		
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.43	0.03
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.55	0.03
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-0.58	0.05
Reclutas de <i>Thunnus albacares</i> *	0.55	0.06
<i>Carcharhinus longimanus</i>	-0.01	0.02
<i>Seriola lalandi</i> *	0.31	0.03
<i>Elagatis bipinnulata</i> *	0.16	0.02

el jurel y el salmonete. Asimismo, se registran diferencias de todas las especies entre la zona costera (I) y la oceánica sur (III). Por último, al comparar las zonas oceánicas norte y sur, para la única especie que no se registran diferencias significativas ( $P > 0.01$ ) fue el tiburón punta blanca (*Carcharhinus longimanus*). Al aplicar el modelo y la probabilidad *a priori* a la ecuación de predicción (ecuación 3), se observa que los lances realizados en la zona costera tienen un valor alto de probabilidad de ser bien clasificados; sin embargo, en algunos casos se registra una probabilidad mayor al 20% de ser clasificados dentro de la zona oceánica norte, pero valores de probabilidad cercanos a cero de que sean clasificados dentro de la zona oceánica sur. Los lances registrados en la zona oceánica norte muestran valores de probabilidad de cerca del 70% de ser bien clasificados, aunque en algunos de ellos muestran probabilidades de 20% a 40% de ser clasificados como lances realizados en la zona costera; sin embargo, la probabilidad de ser clasificados dentro de la zona III es cercana a cero. Por último, los lances realizados en la zona oceánica sur (III) muestran valores cercanos al 90% de buena clasificación.

2. Función discriminante cuadrática, con matriz de varianzas y covarianza heteroscedástica, para clasificar objetos flotantes (tabla 6): De las cuatro clases de objetos flotantes, los OFMA son los que tienen un tamaño de muestra reducido en la base de datos. Esto provocó valores altos de confusión en los OFMA, por lo que se decidió eliminarlos del análisis. El modelo es el producto de las combinaciones lineales y cuadráticas de los valores del grupo de tiburón sedoso, los reclutas del grupo de tiburón sedoso, los reclutas de patudo y el salmonete. Los resultados muestran que los DAP obtuvieron una

silky-shark group, recruits of the silky-shark group, bigeye recruits and rainbow runner. The results show that the FAD had an error rate of 3% and the FOTE of 43%. However, the FOA had a classification error of 97%. The overall classification error was 14%. When the FOTE and FOA are compared, all the species appear significantly different, except for the recruits of the silky-shark group. Also, significant differences were recorded ( $P < 0.01$ ) among all the species when FOTE and FAD are compared, whereas when FAD and FOA are compared, all are different, except for the rainbow runner. Applying the model and the probabilities *a priori* to the FOA, the probability of classifying them as terrestrial is greater than 40%. Regarding the FAD, in most cases the probability of correct classification is high, greater than 75%.

3. Discriminant quadratic function, with heteroscedastic variance and covariance matrix, to classify FAD (table 7): This model includes data on the number of organisms observed in the sets of the silky-shark group and their recruits, wahoo recruits, sailfish, black marlin, striped marlin and rainbow runner. After applying the model, FAD had an error rate in the classification of 0%, while the other group decreased from 82% to 65%. The overall error was around 5%. Except for the black marlin, all the other species showed significant differences between both groups ( $P < 0.01$ ). Applying this model to all the sets, those carried out on FAD reached a probability of correct classification of more than 85%, on average, while for those on the other objects it is lower.

The models to compare the quarter, the years, the combination of the zone/quarter and zone/year factors, did not present satisfactory

**Tabla 6.** Resultados del modelo discriminante cuadrático para clasificar objetos flotantes: OFTE = objetos flotantes terrestres, OFA = objetos flotantes artificiales y DAP = dispositivos agregadores de peces. En la tabla de validación cruzada **(a)**, se presentan los errores de la clasificación anterior y posterior de los cuadrantes; obsérvese que después de aplicar el modelo, el error total se reduce de 19% a 14%. En los intervalos de confianza simultáneos **(b)**, construidos a través del método de Sidak, el asterisco indica que existe diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) de los valores de la transformación de las tasas de captura de una especie entre las zonas comparadas en la prueba.

**Table 6.** Results of the quadratic discriminant model to classify floating objects: OFTE = terrestrial floating objects, OFA = artificial floating objects and DAP = fish aggregating devices. In the table of cross-validation **(a)**, the errors of the classification prior to and after the quadrants are presented; note that after applying the model, the overall error decreases from 19% to 14%. In the simultaneous confidence intervals **(b)**, obtained with the Sidak method, the asterisk indicates that there is significant difference ( $P < 0.01$ ) of the values of the transformation of the catch rates of a species among the zones compared in the test.

**(a) Tabla de validación cruzada**

Objetos	OFTE	OFA	DAP	Error anterior	Error posterior
OFTE	268	4	885	0.77	0.43
OFA	183	1	970	0.99	0.97
DAP	571	45	11,265	0.05	0.03
Error global				0.19	0.14

**(b) Intervalos de confianza simultáneos usando el método de Sidak**

	Estimación	Error estándar
<b>OFTE vs OFA</b>		
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.10	0.03
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i>	0.06	0.03
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-0.25	0.04
<i>Elagatis bipinnulata</i> *	0.15	0.03
<b>OFTE vs DAP</b>		
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.16	0.02
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.21	0.02
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-1.13	0.03
<i>Elagatis bipinnulata</i> *	0.14	0.02
<b>OFA vs DAP</b>		
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.06	0.02
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.15	0.02
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-0.87	0.04
<i>Elagatis bipinnulata</i>	-0.01	0.02

tasa de error de 3% y los OFTE de 43%. Sin embargo, los OFA obtuvieron un error de clasificación de 97%. El error de clasificación global alcanzado fue de 14%. Al comparar los OFTE y OFA se observa que, con excepción de los reclutas del grupo de tiburón sedoso, todas las especies son significativamente diferentes. Asimismo, se registran diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre todas las especies cuando se comparan OFTE y DAP, mientras que cuando se comparan DAP y OFA, todas son diferentes con excepción del salmonete. Aplicando el modelo y las probabilidades *a priori* a los OFA, se observa que la probabilidad de clasificarlos como terrestres es superior al 40%. En cuanto a los DAP, en la mayoría de los casos la probabilidad de clasificación correcta es alta, mayor al 75%.

3. Función discriminante cuadrática, con matriz de varianza y covarianza heteroscedástica, para clasificar DAP (tabla 7): Este modelo incluye datos sobre el número de organismos observados en los lances del grupo de tiburón sedoso y sus reclutas, reclutas de patudo, pez vela, marlin negro, marlin rayado y salmonete. Los DAP alcanzaron una tasa de error en la clasificación después de aplicar el modelo de 0%, mientras que el otro grupo disminuyó de 82% a 65%. El error global registrado fue del orden de 5%. Con excepción del marlin negro, todas las demás especies involucradas mostraron diferencias significativas entre los dos grupos ( $P < 0.01$ ). Aplicando este modelo a todos los lances, se observa que aquellos realizados sobre DAP alcanzan una probabilidad de clasificación correcta de más de 85% en promedio, mientras que en los otros objetos es más baja.

Los modelos para comparar los trimestres del año, los años, la combinación de los fac-

results regarding the decrease in the rates of error. In all cases, the overall error was greater than 25%.

## DISCUSSION

The species in the associated fauna of the tuna log sets on floating objects tends to be related in different ways with them. This relationship depends on the behavior of the species (or group of species) and on their own function in the biological community. In the eastern Pacific Ocean, groups of species that occur very frequently are observed, such as the dolphinfishes (*Coryphaena* spp.) and wahoo (*A. solandri*); the former occur in large schools, whereas the latter is found in medium-sized groups. Other groups that are frequently associated with floating objects are the recruits of the yellowfin (*T. albacares*) and bigeye tunas (*T. obesus*), and fish species of the family Balistidae. The two groups of recruits associate with the floating object in large schools. In similar fisheries in other oceans, some of these species tend to behave in a similar way. For example, the dolphinfishes and species of the family Balistidae are common in the bycatch of the fishery on floating objects in the western Pacific Ocean (Hampton and Bailey, 1993), in the Atlantic Ocean (Gaertner *et al.*, 1996; Delgado de Molina *et al.*, 1999) and in the Indian Ocean (Hallier and Parajua, 1999). In some seas, the dolphinfish is so abundant that commercial (Massuti *et al.*, 1999) or sport fisheries (Kingsford and DeFries, 1999) have developed around floating objects. Some species, on the other hand, are reported as being not very frequent, rare or scarce in numbers, like the wahoo in the western Pacific tuna fishery (Bailey *et al.*, 1996). This can be due to the fact that the wahoo does not tend to form large schools and is frequently observed in small groups (Collete, 1995).



**Tabla 7.** Resultados del modelo discriminante cuadrático para clasificar objetos flotantes: DAP = dispositivos agregadores de peces y noDAP = otro tipo de objeto flotante. En la tabla de validación cruzada (**a**), se presentan los errores de la clasificación anterior y posterior de los cuadrantes; obsérvese que después de aplicar el modelo, el error total se reduce de 20% a 5%. En los intervalos de confianza simultáneos (**b**), construidos a través del método de Sidak, el asterisco indica que existe diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) de los valores de la transformación de las tasas de captura de una especie entre las zonas comparadas en la prueba.

**Table 7.** Results of the quadratic discriminant model to classify floating objects: DAP = fish aggregating devices and noDAP = another type of floating object. In the table of cross-validation (**a**), the errors of the classification prior to and after the quadrants are presented; note that after applying the model, the overall error decreases from 19% to 14%. In the simultaneous confidence intervals (**b**), obtained with the Sidak method, the asterisk indicates that there is significant difference ( $P < 0.01$ ) of the values of the transformation of the catch rates of a species among the zones compared in the test.

**(a) Tabla de validación cruzada**

Objetos	noDAP	DAP	Error anterior	Error posterior
noDAP	493	2,290	0.82	0.65
DAP	597	11,189	0.05	0.00
		Error global	0.20	0.05

**(b) Intervalos de confianza simultáneos usando el método de Sidak**

noDAP vs DAP	Estimación	Error estándar
<i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.07	0.02
Reclutas de <i>Carcharhinus falciformis</i> *	0.15	0.01
Reclutas de <i>Thunnus obesus</i> *	-1.01	0.03
<i>Istiophorus platypterus</i> *	0.02	<0.01
<i>Makaira indica</i> *	0.00	<0.01
<i>Tetrapturus audax</i> *	0.01	<0.01
<i>Elagatis bipinnulata</i>	0.03	0.01

tores zona/trimestre y zona/año, no mostraron resultados satisfactorios en cuanto a la disminución de las tasas de error. En todos los casos, el error posterior global fue superior al 25%.

## DISCUSIÓN

Las especies de la fauna de acompañamiento en la captura del atún en lances sobre objetos flotantes tienden a relacionarse de manera diferente con ellos. Esta relación está de acuerdo con el comportamiento de la especie (o grupo de especies) y a su propio

The rainbow runner (*E. bipinnulata*) and the yellowtail (*S. lalandi*), which according to some authors tend to form large schools (Eschmeyer *et al.*, 1983; Smith-Vaniz, 1995), are less frequent in the associated fauna than the groups mentioned in the previous paragraph. In addition, their observed catch rates are smaller than those of the dolphinfish, the wahoo and the recruits of the tuna species. These species show a similar spatial pattern, occurring in an area oriented from the east to the west, that extends from the Equator to 10°N. Also, they show a similar behavior of

funcionamiento en la comunidad biológica. En el Pacífico oriental, se observan grupos de especies que están presentes muy frecuentemente, como el dorado (*Coryphaena* spp.) y el peto o wahoo (*A. solandri*); el primero se observa en cardúmenes grandes, mientras que el segundo en grupos medianos. Otros grupos que están frecuentemente asociados con los objetos flotantes son los individuos reclutas del atún aleta amarilla (*T. albacares*), del atún patudo (*T. obesus*) y especies de peces de la familia Balistidae. Los dos grupos de reclutas se asocian con el objeto flotante en cardúmenes grandes. En pesquerías similares de otros océanos, algunas de estas especies tienden a comportarse de manera semejante. Por ejemplo, el dorado y especies de la familia Balistidae son comunes en la fauna de acompañamiento de la pesca sobre objetos flotantes en el Pacífico occidental (Hampton y Bailey, 1993), en el Océano Atlántico (Gaertner *et al.*, 1996; Delgado de Molina *et al.*, 1999) y en el Océano Índico (Hallier y Parajua, 1999). En algunos mares, el dorado es tan abundante que se ha desarrollado una pesquería comercial (Massuti *et al.*, 1999) o deportiva (Kingsford y DeFries, 1999) alrededor de objetos flotantes. Otras especies, por el contrario, son reportadas como poco frecuentes, raras o en número escaso, como es el peto en la pesquería de atún del Pacífico occidental (Bailey *et al.*, 1996). Esto puede deberse a que el peto no tiende a formar grandes cardúmenes y frecuentemente se le observa formando pequeños grupos (Collete, 1995).

El salmonete (*E. bipinnulata*) y el jurel (*S. lalandi*), que de acuerdo con algunos autores tienden a formar grandes cardúmenes (Eschmeyer *et al.*, 1983; Smith-Vaniz, 1995), son menos frecuentes en la fauna de acompañamiento que los grupos citados en el párrafo precedente. Además, sus tasas de captura observadas son menores a las del dorado, del peto y de los reclutas de las especies de atunes.

shifting their centres of presence in a longitudinal direction (according to the catch rate and to the n/c index) throughout an annual cycle. Note, however, that the frequency in which they appear in the sets (table 2) is different (the yellowtail is less frequent). On the other hand, the catch rates, the agglomeration indexes and the number of individuals caught relative to the main catch are similar. These species show a great similarity in their external appearance. One difference is the couple of small fins that the rainbow runner has, one on the back and the other in the ventral region, near the caudal peduncle. Hence, some authors think that these two species may be confused, the rainbow runner being classified as yellowtail and vice versa (Bob Olson and Felipe Galván, personal communication). Furthermore, Collet (1995) argues that the spatial distribution of the yellowtail does not correspond to that observed herein, since it has a distribution to the north of 20°N and south of 5°S. On the contrary, the rainbow runner does correspond with the patterns observed and that reported by those authors. Froese and Pauly (1998), however, show distribution maps of the yellowtail similar to those obtained in this work, although their centres of greater concentration are located to the north of 10°N. There are similarities in the fishery on floating objects for these species in other oceans (Bailey *et al.*, 1996; Kingsford, 1999; Deudero, *et al.*, 1999). For example, in the western Pacific, *Seriola rivolina* is reported as an occasional species in the bycatch of the sets on driftwood (non-FAD) and the rainbow runner is reported as a common species in sets on FAD and on driftwood. In the western Atlantic, the rainbow runner has been recorded as part of the associated fauna in the sets on FAD, but no species similar to the yellowtail was observed (Ariz *et al.*, 1999a). According to the results presented herein, and to that reported in the literature, it can be assumed that the rainbow runner is the

Estas especies muestran un patrón espacial similar, distribuyéndose en una franja orientada de este a oeste, que va desde el Ecuador hasta los 10°N. Asimismo, muestran un comportamiento semejante de cambiar sus centros, en un sentido longitudinal, de presencia (de acuerdo con la tasa de captura y el índice n/c) a lo largo de un ciclo anual. Obsérvese, sin embargo, que la frecuencia en que aparecen en los lances (tabla 2) es diferente (es menos frecuente el jurel). Contrariamente, se observa que las tasas de captura, los índices de aglomeración y el número de individuos capturados con respecto a la captura principal son semejantes. Estas especies muestran una gran similitud en su apariencia exterior. Una diferencia es el par de aletas pequeñas que presenta el salmonete, una en el dorso y otra en la región ventral, cerca del pedúnculo caudal. Debido a lo anterior, algunos autores piensan que puede existir una confusión de estas especies, clasificándose el salmonete como jurel o viceversa (Bob Olson y Felipe Galván, comunicación personal). Además de ello, Collet (1995) argumenta que la distribución espacial del jurel no corresponde a lo observado aquí, ya que tiene una distribución al norte de los 20°N y al sur de los 5°S. Por el contrario, el salmonete sí tiene una correspondencia en los patrones observados y lo reportado por esos autores. Contrariamente, Froese y Pauly (1998) muestran mapas de distribución del jurel semejantes a lo observado en este trabajo, aunque sus centros de mayor concentración se localizan al norte de los 10°N. En otros océanos estas especies tienen sus similares en la pesca sobre objetos flotantes (Bailey *et al.*, 1996; Kingsford, 1999; Deudero *et al.*, 1999). Por ejemplo, en el Pacífico occidental, en la fauna de acompañamiento se reporta a *Seriola rivolina* como especie ocasional en lances sobre troncos (noDAP) y al salmonete, como especie común en lances sobre DAP y sobre troncos. En el Atlántico occidental, el salmonete es registrado como parte de la fauna

most frequent and abundant species of the two species in the bycatch of sets on floating objects in the eastern Pacific. Likewise, it is probable that some yellowtail individuals are of the other species, but not necessarily all of them; however, this possible confusion of the two species does not affect the final result of the spatial classification of the fauna associated with floating objects, since both species have the same distribution.

The silky-shark group (*C. falciformis* and *C. limbatus*) is also frequently observed in fauna associated with floating objects. The spatial distribution of the catch rates and the n/c index indicate that this group has a very wide distribution, similar to the one observed in the sets on floating objects. However, the core of higher concentration are located to the north of the Equator, with apparent changes during an annual cycle. The blacktip shark (*C. limbatus*) has been reported as part of the incidental catch in the eastern Pacific, near the coast of Ecuador (Kato, 1967); however, this has been the only report of this species as part of the incidental catch in fishing on floating objects. The distribution reported for this species indicates that it is more frequent in the neritic zone, near the coast (Castro, 1983). In the eastern Pacific, its distribution ranges from the coasts of Baja California to Peru, including the Galapagos Islands (Bass, Heemstra and Compagno, 1986, in Froese and Pauly, 1998). On the other hand, the silky shark (*C. falciformis*) has been mentioned as the most abundant shark species in the incidental catch of the eastern Pacific tuna fishery (Au, 1991), as well as in other fisheries (Bailey *et al.*, 1996; Delgado de Molina *et al.*, 1999). Also, it has been reported as a species frequently associated with schools of tuna (Froese and Pauly, 1998). The silky shark is an abundant species, both near and far from the coast, and is highly migratory (Last and Stevens, 1994, in Froese and Pauly, 1998). Based on the above, it can be assumed that this

de acompañamiento en lances sobre DAP, pero no se observó ninguna especie semejante al jurel (Ariz *et al.*, 1999a). De acuerdo con los resultados presentados aquí, y a lo reportado en la literatura, es posible suponer que el salmónete es la especie más frecuente y abundante de las dos especies en la fauna de acompañamiento en lances sobre objetos flotantes en el Pacífico oriental. Asimismo, es probable que algunos individuos de jurel sean de la otra especie, pero no necesariamente todos; sin embargo, esta posible confusión de las dos especies no afecta el resultado final de clasificación espacial de la fauna asociada con objetos flotantes, debido a que las dos especies muestran una misma distribución.

El grupo de tiburón sedoso (*C. falciformis* y *C. limbatus*) es también frecuentemente observado en la fauna de acompañamiento de los objetos flotantes. La distribución espacial de las tasas de captura y el índice n/c indican que este grupo tiene una distribución muy amplia, semejante a la observada en los lances sobre objetos flotantes. Sin embargo, los núcleos de mayor concentración se localizan al norte del Ecuador, con cambios aparentes a lo largo de un ciclo anual. El tiburón punta negra (*C. limbatus*) se ha reportado como parte de la pesca incidental en el Pacífico oriental, cerca de las costas de Ecuador (Kato, 1967); éste, sin embargo, ha sido el único reporte de esta especie como parte de la captura incidental en la pesca sobre objetos flotantes. La distribución reportada de esta especie indica que es más frecuente en la zona nerítica, cerca de la costa (Castro, 1983). En el Pacífico oriental se distribuye cerca de las costas de Baja California hasta Perú, incluyendo a las islas Galápagos (Bass, Heemstra y Compagno, 1986, citado en Froese y Pauly, 1998). Por su parte, el tiburón sedoso (*C. falciformis*) ha sido citado como la especie de tiburón más abundante en la captura incidental en la pesca del atún en el Pacífico oriental (Au, 1991), así como en otras

group is dominated by the silky shark (*C. falciformis*), in most of the area where it is caught incidentally, although the other species can also be caught incidentally near the shore. In the bycatch, a considerable proportion of this group are individuals smaller than 90 cm. Assuming that these two species (*C. falciformis* and *C. limbatus*) are the most numerous in the group and given their size at birth of around 60 cm (Last and Stevens, 1994, in Froese and Pauly, 1998), it can be concluded that in this fishery, many recruits of these species are caught incidentally, mainly to the north of 5°N.

Large predators like the whitetip shark (*C. longimanus*), the hammerhead shark (*Sphyrna* spp.) and the group of marlins and billed fish (*Makaira mazara*, *M. indicata*, *Tetrapturus audax*, *Istiophorus platypterus*, etc.), are occasionally or rarely associated with floating objects. In general, they occur in small groups or as solitary organisms. The highest concentration of whitetip shark, in relation to the catch rates and the n/c index, occurred far from shore, except during the second quarter, when it was also observed to the south of the Gulf of Panama. This spatial distribution matches that mentioned by Compagno (1984, in Froese and Pauly, 1998), who mentions that this species is found in areas far from the coast and is highly migratory. The other species are not very frequent and do not present an apparent spatial pattern. In the case of the group of marlins and billfishes, however, most of the specimens are reported within the size classes larger than 150 cm. According to that reported in the literature (Skillman and Yong, 1976; Froese and Pauly, 1998), these sizes correspond to adults.

Parin and Fedoryako (1999) propose a classification for the fauna associated with floating objects based on their relationship or proximity to them. In this classification, reference is made to the life cycle of the species:

pesquerías (Bailey *et al.*, 1996; Delgado de Molina *et al.*, 1999). Además, se ha reportado como una especie que frecuentemente se asocia con cardúmenes de atún (Froese y Pauly, 1998). El tiburón sedoso es una especie abundante, tanto cerca de las costas como alejadas de ellas, y es altamente migratorio (Last y Stevens, 1994, en Froese y Pauly, 1998). Dado lo anterior, es posible suponer que este grupo esté dominado por la especie de tiburón sedoso (*C. falciformis*), en la mayor parte de la zona en donde se observa su captura incidental, aunque la otra especie también puede ser pescada incidentalmente cerca de la costa. En la fauna de acompañamiento aparece una proporción considerable de individuos de este grupo de menos de 90 cm. Suponiendo que estas dos especies (*C. falciformis* y *C. limbatus*) son las más numerosas del grupo y dado su talla al nacer de cerca de 60 cm (Last y Stevens, 1994, en Froese y Pauly, 1998), se puede concluir que en esta pesquería se observa una cantidad considerable de individuos reclutas de estas especies capturados incidentalmente, principalmente al norte de los 5°N.

Grandes depredadores como el tiburón punta blanca (*C. longimanus*), el tiburón martillo (*Sphyrna* spp.) y del grupo de los marlines y peces pico (*Makaira mazara*, *M. indica*, *Tetrapturus audax*, *Istiophorus platypterus*, etc.), se asocian con objetos flotantes ocasionalmente o son raras. Por lo general, se encuentran en pequeños grupos o como organismos solitarios. El tiburón punta blanca muestra su mayor concentración, de acuerdo con las tasas de captura y el índice n/c, alejado de la costa, con excepción del segundo trimestre en donde también se observa al sur del Golfo de Panamá. Esta distribución espacial es congruente con lo mencionado por Compagno (1984, en Froese y Pauly, 1998), quien menciona que esta especie se encuentra en zonas lejanas a la costa y es altamente migratoria. Las otras especies aparecen poco frecuentes sin mostrar un patrón

most of the intransatant and extranantant fishes are represented by juveniles, whereas the circumnatant fishes are adults. Following this classification, and according to that observed regarding the percentage of sizes at capture (table 3) and the indexes of catch rates and of agglomeration, the marlins and billfishes, and the whitetip and hammer sharks would fall into the circumnatant group. Likewise, the silky-shark group, the large fishes (dolphinfish, wahoo, rainbow runner and yellowtail), and the recruits of yellowfin and bigeye tunas would fall into the intransatant and extranantant groups.

The spatial patterns are found to vary temporarily and spatially. These variations can be closely related to the life cycle of the species caught incidentally. For example, the species can have a season of maximum reproduction in specific areas and near floating objects, the coast, islands, etc. Some shark species have preferences for coastal areas, as is the case of the blacktip shark, whereas others spend their entire life cycle far from shore, as is the case of the whitetip shark (Castro, 1983). The dolphin-fish species (*Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*) reproduce more intensely near the shore and with greater intensity in spring and summer (Beardsley, 1967), while the wahoo is more of an offshore species (Collette, 1995). Regarding the yellowfin tuna, Schaefer (1998) reports that spawning of this species occurs in practically the entire eastern Pacific Ocean. However, according to the observations of this author, the areas of greater spawning are north of the Equator, between the coast and 110°W, and with greater intensity to the north of 5°N and west of 110°W. These areas coincide, more or less, with the coastal and northern zones analyzed in this work, with abundant presence of FOTE. This may be the reason why these zones have a strong presence of yellowfin tuna recruits.

It is important to indicate the possible physical, chemical, geological and biological

espacial aparente. En el caso del grupo de los marlines y peces pico, sin embargo, la mayoría de los especímenes se reportan dentro de la clase de tallas superiores a los 150 cm. De acuerdo con lo reportado en la literatura (Skillman y Yong, 1976; Froese y Pauly, 1998), estas tallas pertenecen a individuos adultos.

Parin y Fedoryako (1999) proponen una clasificación de la fauna asociada con objetos flotantes según su cercanía o relación con éstos. En esta clasificación se hace referencia al ciclo de vida de las especies, de tal forma que la mayoría de las especies que se denominan como intranadantes y extranadantes son representadas por organismos juveniles, mientras que las circundantes se refieren a organismos adultos. Siguiendo esta clasificación, y de acuerdo con lo observado en cuanto al porcentaje de tallas en la captura (tabla 3) y los índices de tasas de captura y de aglomeración, los marlines y los peces pico, los tiburones punta blanca y martillo, serían especies circundantes. Del mismo modo, el grupo de tiburón sedoso, los peces grandes (dorado, peto, salmonete y jurel), los reclutas de atún aleta amarilla y los reclutas de patudo caerían en los grupos de los intranadantes y extranadantes.

Se observa que los patrones espaciales pueden variar temporal y espacialmente. Estas variaciones pueden estar estrechamente relacionadas con el ciclo de vida de las especies capturadas incidentalmente. Por ejemplo, las especies pueden tener una época de máxima reproducción en zonas específicas y cerca de objetos flotantes, las costas, islas, etc. Algunas especies de tiburones tienen preferencias por las zonas costeras, como es el caso del tiburón punta negra. Otras, por el contrario, realizan todo su ciclo de vida alejados de la costa, como en el caso del tiburón punta blanca (Castro, 1983). Las especies de peces de dorado (*Coryphaena hippurus* y *C. equiselis*) llevan a cabo más intensamente su reproducción cerca de la costa y con más intensidad en primavera y

barriers that limit the total exchange of individuals, even though they do not impede it. In the eastern Pacific, a possible barrier could be the Equatorial Countercurrent that, in general, is located between 4° and 10° N (Wyrski, 1965; Fiedler *et al.*, 1992). This barrier could affect not only the north-to-south exchange of the individuals of different species but also that of the floating objects on the surface. The preliminary analysis of three of the most frequent species (or groups) in the incidental catch, i.e., dolphinfish, wahoo and silky-shark group, revealed regional differences relative to the three zones. Temporary differences are observed in one annual cycle. The dolphinfishes (*Coryphaena* spp.) show a greater presence of juveniles in the northern oceanic zone, while in the summer months they show high peaks in the coastal zone. Regarding the presence of recruits of the silky-shark group (*Carcharhinus falciformis* and *C. limbatus*), a high percentage of them is clearly observed in the coastal zone and increasing in the northern oceanic zone; in the latter, in the months of the first and the last quarter they comprise around 50% of the individuals. In the coastal zone, on the other hand, the largest percentages of recruits are recorded during the spring and summer quarters.

In order to observe the presence of the species in the three zones mentioned, two indexes were used: the catch rate and the index of the number of individuals caught in relation to the main species (n/c). Both were calculated using only the positive sets in which the species of interest appeared. This analysis shows a group of species with greater presence in the northern oceanic zone and in the coastal zone and another group with greater presence in the southern zone. The following species occur in the first group: the recruits of yellowfin tuna (*T. albacares*), the silky-shark group (*C. falciformis* and *C. limbatus*) and the rainbow runner (*E. bipinnulata*). The main species in

verano (Beardsley, 1967), mientras que el peto o wahoo es más bien de hábitos alejados de la costa (Collette, 1995). En el caso del atún aleta amarilla, Schaefer (1998) reporta que el desove de esta especie se lleva a cabo en prácticamente todo el Pacífico oriental. Sin embargo, según lo observado por este autor, las zonas con mayor desove se dan al norte del Ecuador, entre la costa y los 110°W, y más intensamente al norte de los 5°N en longitudes al oeste de los 110°W. Estas zonas coinciden, más o menos, con las zonas costera y norte analizadas en este trabajo con abundante presencia de OFTE. Esto tal vez sea la razón por la cual estas zonas muestran una fuerte presencia de reclutas de atún aleta amarilla.

Asimismo, es importante destacar las posibles barreras físicas, químicas, geológicas y biológicas, que aunque no impiden el intercambio total de individuos, lo limitan. En el Pacífico oriental, una posible barrera pudiera ser la Contracorriente Ecuatorial, que en general se localiza entre los 4° y 10° N (Wyrski, 1965; Fiedler *et al.*, 1992). Esta barrera pudiera afectar no solamente el intercambio de norte a sur de individuos de las diferentes especies, sino también de los objetos flotantes que se encuentran en la superficie. Se encontraron diferencias regionales, de acuerdo con las tres zonas, en el análisis preliminar de tres de las especies (o grupos) más frecuentes en la captura incidental: el dorado, el peto (o wahoo) y el grupo de tiburón sedoso. Se observan diferencias temporales en un ciclo anual. El dorado (*Coryphaena* spp.) muestra una mayor presencia de juveniles en la zona oceánica norte, mientras que en los meses de verano muestra picos altos en la zona costera. En cuanto a la presencia de reclutas del grupo de tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis* y *C. limbatus*), se observa claramente un alto porcentaje de ellos en la zona costera y más fuertemente en la zona oceánica norte; en esta última, en los meses del primer y último trimestre lle-

the second group were the bigeye tuna recruits (*T. obesus*), the hammerhead sharks (*Sphyrna* spp.) and the group of rays (*Dasyatis* spp.). The presence of the whitetip shark (*C. longimanus*) was only notable in the two zones far from the shore. The other species in the associated fauna do not present a defined pattern with respect to the classification zones.

The classification zones were defined based on the presence of a type of floating object. In the coastal zone and in the northern oceanic zone (see fig. 1), the presence of FOTE dominates. In these zones, the silky-shark group and its recruits are very important in the associated fauna. The yellowfin tuna recruits and, in lesser amounts, the yellowtail and the rainbow runner are also caught in considerable numbers. However, in the southern oceanic zone, the most important group is that of the bigeye tuna recruits. The northern oceanic zone and the coastal zone are intimately linked by the flow of the marine currents that develop in the coastal zone and run from south to north, subsequently joining the North-Equatorial Current (Wyrski, 1965; Fiedler *et al.*, 1992). If the coastal zone receives many objects from the land, they will be kept there for a while by currents that form cycles in a north to south direction (García *et al.*, 1999); some of them will later be expelled, first traveling northwards and then, at around 10°N, westwards. In this trajectory, different species will become associated that are more frequent in the coastal and northern zones, such as the recruits of the yellowfin tuna and of the silky-shark group, etc.

The southern oceanic zone depends on another main source of floating objects: fishing. Since the beginning of the 1990s, the "sowing" of FAD on the surface began in the southern region of the eastern Pacific (Hall *et al.*, 1999). This sowing is not carried out near the shore, but rather in areas where the direction of their trajectories will be governed by the southern anticyclonic gyre, in order to find a

gan a ser alrededor del 50% de los individuos. En la zona costera, por su parte, los mayores porcentajes de reclutas se registran durante los trimestres de primavera y verano.

Para observar la presencia de las especies en las tres zonas mencionadas, se utilizaron dos índices: la tasa de captura y el índice del número de individuos capturados con respecto a la especie principal (n/c). Los dos se calcularon tomando solamente los lances positivos en donde apareció la especie en cuestión. De este análisis surge un grupo de especies con mayor presencia en la zona oceánica norte y en la zona costera y otro grupo con mayor presencia hacia la región del sur. En el primer grupo se encuentran: los reclutas de atún aleta amarilla (*T. albacares*), el grupo de tiburón sedoso (*C. falciformis* y *C. limbatus*) y el salmonete (*E. bipinnulata*). En el segundo grupo destacan los reclutas de patudo (*T. obesus*), el tiburón martillo (*Sphyrna* spp.) y el grupo de las rayas (*Dasyatis* spp.). Asimismo, se destaca la presencia del tiburón punta blanca (*C. longimanus*) sólo en las dos zonas lejanas a la costa. Las otras especies de la fauna de acompañamiento no muestran un patrón definido con respecto a las zonas de clasificación.

Las zonas de clasificación se definieron con base a la presencia de algún tipo de objeto flotante. En la zona costera y la oceánica del norte (ver fig. 1), domina la presencia de OFTE. En estas zonas, se observa que en la fauna de acompañamiento, el grupo de tiburón sedoso y sus reclutas son muy importantes. Asimismo, los reclutas de atún aleta amarilla y, en menor cantidad, el jurel y el salmonete también son capturados en número considerable. Sin embargo, en la zona oceánica sur el grupo más importante son los reclutas de patudo. La zona oceánica norte y la costera están íntimamente ligadas por el flujo de las corrientes marinas que se desarrollan en la zona costera que transitan de sur a norte y, posteriormente, se encuentran con la Corriente Ecuatorial del

pattern similar to the one observed in the sowing of FAD in the western Atlantic (Ariz *et al.*, 1999b). The group of organisms associated with floating objects characterizing this area is the bigeye tuna recruits, although the whitetip shark should also be mentioned.

In accordance with the preceding paragraphs, there are two areas of the eastern Pacific that present a well-differentiated fauna associated with floating objects: a northern zone, with strong coastal influence, and a southern zone. This coincides with that observed by Litinov (1990), who distinguished spatial patterns in pelagic communities of elasmobranchs in a north and south direction. These two zones have as a common border the Equatorial Countercurrent, whose position, in turn, is influenced by the intertropical convergence area.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the authorities of the Inter-American Tropical Tuna Commission for allowing the use of the information to carry out this work. Thanks to Martin Hall, Guillermo Compeán, Bob Olson, Oscar Sosa, Guillermo Villarreal, Amado Villaseñor, Lourdes Arredondo, Felipe Galván and two anonymous reviewers for their comments and suggestions; and to Víctor Zárate for his help in editing the figures. This work was partially financed by CONACYT (project number 3946P-B).

English translation by Manuel Gardea.

Norte (Wyrcki, 1965; Fiedler *et al.*, 1992). Si en la zona costera se recibe una buena cantidad de objetos desde el continente, éstos serán retenidos en ella por un tiempo, a través de corrientes que forman ciclos en dirección de norte a sur (García *et al.*, 1999) y, posteriormente, algunos de éstos serán expulsados viajando primeramente hacia el norte y posteriormente hacia el



occidente, alrededor de los 10°N. En este viaje se irán asociando diferentes especies que son más frecuentes en las zonas costera y norte, como son los reclutas de atún aleta amarilla, los reclutas del grupo de tiburón sedoso, etc.

La zona oceánica del sur depende de otra fuente principal de objetos flotantes: la pesca. Desde principios de la década de los noventa se inició la “siembra” de dispositivos para agregar peces en la superficie de la región sur del Pacífico oriental (Hall *et al.*, 1999). Esta siembra no se realiza cerca de la costa, sino más bien en zonas donde se sabe que la dirección de su viaje será gobernado por el giro anticiclónico del sur, buscando un patrón semejante al observado en la siembra de DAP en el Atlántico occidental (Ariz *et al.*, 1999b). El grupo de organismos asociados con objetos flotantes que distingue a esta zona son los reclutas de patudo, aunque también se puede mencionar al tiburón punta blanca.

De acuerdo con los párrafos precedentes, se observa que existen dos zonas del Pacífico oriental con una fauna asociada con objetos flotantes bien diferenciada: una zona norte, con una fuerte influencia de la costa, y una zona sur. Esto coincide con lo observado por Litinov (1990), quien distinguió patrones espaciales en comunidades pelágicas de elasmobranchios en un sentido norte y sur. Estas dos zonas tienen como frontera común la Contracorriente Ecuatorial, cuya posición, a su vez, está influenciada por la zona de convergencia intertropical.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de la Comisión Interamericana del Atún Tropical el haber permitido el uso de la información para realizar este trabajo. Se agradece a Martin Hall, Guillermo Compeán, Bob Olson, Oscar Sosa, Guillermo Villarreal, Amado Villaseñor, Lourdes Arredondo, Felipe Galván y dos revisores anónimos sus comentarios y sugerencias; así

como a Víctor Zárate su ayuda en la edición de las gráficas. Este trabajo fue patrocinado parcialmente por el CONACYT (proyecto número 3946P-B).

#### REFERENCIAS

- Arenas, P., Hall, M. and García, M. (1999). Association of fauna with floating objects in the eastern Pacific Ocean. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody and K.M. Shaefer (eds.), Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, pp. 285–326.
- Ariz, J., Delgado, A., Delgado, R., Pallarés, P. y Santana, J.C. (1999a). Resultados de la explotación de los cardúmenes de túnidos asociados a un dispositivo agregador de peces, mediante diez pescas consecutivas. SCRS, 063, 10 pp.
- Ariz, J., Delgado, A., Fonteneau, A., González, F. and Pallarés, P. (1999b). Logs and tunas in the eastern tropical Atlantic: A review of present knowledges and uncertainties. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody and K.M. Shaefer (eds.), Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, pp. 21–65.
- Au, D.W. (1991). Polyspecific nature of tuna schools: Shark, dolphin, and seabird associated. Fish. Bull., 89: 343–354.
- Bailey, K., Williams, P.G. and Itano, D. (1996). Bycatch and discards in western Pacific tuna fisheries: A review of SPC data holdings and literature. Ocean. Fish. Prog. Tec. Rep. 34. Noumea, New Caledonia, 164 pp.
- Batalyants, K.Y., (1992). On the hypothesis of comfortability stipulation of tuna association with natural and artificial floating objects. Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 40(2): 447–453.
- Beardsley, G.L. (1967). Age, growth, and reproduction of the dolphin, *Corypahena hippurus*, in the Straits of Florida. Copeia, 2: 441–451.
- Buckley, T.W. and Miller, B.S. (1994). Feeding habits of yellowfin tuna associated with fish aggregation devices in American Samoa. Bull. Mar. Sci., 55(2–3): 445–459.

- Caddy, J. and Majkowski, J. (1996). Tuna and trees: A reflection on a long-term perspective for tuna fishing around floating logs. *Fish. Res.*, 25: 369–376.
- Castro, J. (1983). *The Sharks of North American Waters*. Texas A&M Univ. Press, 180 pp.
- Collette, B.B. (1995). Scombridae. In: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro oriental*. FAO, Roma, pp. 1521–1543.
- Dagorn, L. and Fréon, P. (1999). Tropical tuna associated with floating objects: A simulation study of the meeting point hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 984–993.
- Delgado de Molina, A., Ariz, J., Gaertner, D. y Santana, J.C. (1999). Estimación de la importancia de las capturas de especies accesorias y de descartes en la pesquería de cerco de túnidos tropicales en el Océano Atlántico oriental. *SCRS*, 99/049, 15 pp.
- Deudero, S., Merella, O., Morales-Nin, B., Massutí, E. and Alemany, F. (1999). Fish communities associated with FADs. *Scientia Marina*, 63(3–4): 199–207.
- Eschmeyer, W.N., Herald, E.S. and Hamman, H. (1983). *A Field Guide to Pacific Coast Fishes of North America*. Houghton Mifflin, 336 pp.
- Fiedler, P.C., Chávez, F.P., Behringer, D.W. and Reilly, S.B. (1992). Physical and biological effects of Los Niños in the eastern tropical Pacific, 1986–1989. *Deep-Sea Res.*, 39(2): 199–219.
- Froese, R. and Pauly, D. (1998). *Fishbase 98: Concepts, Design and Data Sources*. ICLARM, Philippines, 293 pp.
- Gaertner, D. and Medina-Gaertner, M. (1999). An overview of the tuna fishery in the southern Caribbean Sea. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody and K.M. Shaefer (eds.), *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, pp. 66–86.
- Gaertner, D., Pagavino, M. and Marcano, J. (1996). Utilisation de modèles linéaires généralisés pour évaluer les stratégies de pêche thonière à la senne en présence d'espèces associées dans l'Atlantique ouest. *Aquat. Living Res.*, 9: 305–323.
- García, M., Hall, M., Parés-Sierra, A. and Arenas, P. (1999). Simulated trajectories of floating objects entering the eastern tropical Pacific Ocean. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody y K.M. Shaefer (eds.), *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, pp. 346–395.
- Gooding, R.M. and Magnuson, J.L. (1967). Ecological significance of a drifting object to pelagic fishes. *Pac Sci.*, XXI(4): 486–496.
- Hall, M., Lennert-Cody, C., García, M. and Arenas, P. (1999). Characteristics of floating objects and their attractiveness for tunas. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E., Lennert-Cody and K.M. Shaefer (eds.), *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, pp. 396–446.
- Hallier, J.P. and Parajua, J. (1999). Review of tuna fisheries on floating objects in the Indian Ocean. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody y K.M. Shaefer (eds.), *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, pp. 195–221.
- Hampton, J. and Bailey, K. (1993). Fishing for tunas associated with floating objects: A review of the western Pacific fishery. *Tuna and Billfish Assessment Program, SPC. Tec. Rep.*, 31, 48 pp.
- Inoue, M., Amano, R., Iwasaki, Y. and Yamauti, M. (1968). Studies on environments alluring skipjack and other tunas. III. Tagging experiments on the experimental driftwoods as part of ecological study of tunas. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 34(4): 288–294.
- Kato, S. (1967). Sharks of the genus *Carcharhinus* associated with tuna fishery in the eastern tropical Pacific Ocean. *US Fish Wildlife Serv., Circ.* 172, Washington, DC, 22 pp.
- Kingsford, M.J. (1999). Fish attraction devices (FADs) and experimental designs. *Scientia Marina*, 63(3–4): 181–190.
- Kingsford, M.J. and DeFries, A. (1999). The ecology and fishery of *Coryphaena* spp. In: *The waters*

- around Australia and New Zealand. *Scientia Marina*, 63(3–4): 267–275.
- Lawson, T.A. (1997). Estimation of bycatch and discards in central and western Pacific tuna fisheries: Preliminary results. Internal Rep. 33. Ocean. Fish. Program. South Pacific Comm. Neumea, New Caledonia, 30 pp.
- Litinov, F.F. (1990). Structure of epipelagic elasmobranch communities in the Atlantic and Pacific Oceans and their change in recent geological time. *Scripta Technica*, pp. 75–87.
- Marsac, F., Cayré, P. and Conand, F. (1996). Analysis of small-scale movements of yellowfin tuna around fish aggregated devices (FADs) using sonic tags. In: A. Anganuzzi, K.A. Stobberup and N.J. Webb (eds.), Proc. Expert Consultation on Indian Ocean Tunas, 6th Session, Colombo, Sri Lanka, pp. 151–159.
- Massutí, E., Morales-Nin, B. and Deudero, S. (1999). Fish fauna associated with floating objects sampled by experimental and commercial purse seine. *Scientia Marina*, 63(3–4): 219–227.
- Ménard, F., Fonteneau, A., Gaertner, D., Nordstrom, V., Stéquert, B. and Marchal, E. (2000). Exploitation of small tunas by purse-seine fishery with fish aggregating devices and their feeding ecology in an eastern tropical Atlantic ecosystem. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 525–530.
- Parin, N. and Fedoryako, B. (1999). Pelagic fish communities around floating objects in the open ocean. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody and K.M. Shaefer (eds.), Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, pp. 447–458.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. and Flannery, B.P. (1992). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge Univ. Press, 994 pp.
- Schaefer, K.M. (1998). Biología reproductiva del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.*, 21(5): 205–272.
- Skillman, R.A. and Yong, M.Y.Y. (1976). Von Bertalanffy growth curves for striped marlin, *Tetrapturus audax*, and blue marlin, *Makaira nigricans*, in the central North Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, 74(3): 553–566.
- Smith-Vaniz, W.F. (1995). Carangidae. En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V. Niem (eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro oriental*. FAO, Roma, pp. 940–986.
- Solana-Sansores, R. (1999). El mar inicia en las montañas: La pesca del atún sobre objetos flotantes. *Avance y Perspectiva*, 18: 11–19.
- Solana-Sansores, R. y Méndez-Gómez-Humarán, I. (1996). Patrones espaciales de cardúmenes poliespecíficos en la pesca del atún en el Océano Pacífico oriental. *Hidrobiológica*, 6(1–2): 77–85.
- Tabachnick, B.G. and Fidell, L.S. (1989). *Using Multivariate Statistics*. Harper Collins, 746 pp.
- Wyrski, K. (1965). Corrientes superficiales del Océano Pacífico oriental tropical. *Bol. Com. Interam. Atún Trop.*, IX(5): 271–303.
- Young, L.J. and Young, J.H. (1998). *Statistical Ecology: A Population Perspective*. Kluwer Academic, 565 pp.