

TESIS DOCTORAL

Estudio del comportamiento de la ictiofauna en torno a los dispositivos de agregación de peces

Ana Teresa Santana Ortega



DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
Las Palmas de Gran Canaria - 2015

La mayoría de los objetos flotantes naturales a la deriva son introducidos en el océano desde zonas costeras y transportados por las corrientes hacia áreas de convergencia. Por ello, los DAPs son utilizados por algunas especies como indicadores de rutas favorables para la dispersión, al ofrecer refugio y aumentar la probabilidad de supervivencia de sus juveniles. Sin embargo, no todas las especies utilizan los dispositivos flotantes con este objetivo, sino como elementos de referencia que les ayudan a reestructurar sus cardúmenes a lo largo de sus rutas migratorias.

Los dispositivos de agregación de peces (DAPs) aprovechan esta respuesta natural en el comportamiento de los peces y, por esta razón, no es posible introducir ninguna característica específica en estas estructuras, que están siendo usadas masivamente en las pesquerías industriales de cerco, que permitan la atracción selectiva de atunes sin que atraiga a sus fases juveniles u a otras especies no objetivo (by-catch).

El comportamiento agregatorio en torno a los DAPs depende de la especie, de la fase de desarrollo y de talla de los peces. Como regla general se puede considerar que los individuos de pequeño tamaño se encuentran habitualmente muy cerca (en el rango de centímetros a pocos metros) de la estructura flotante, especialmente entre las estructuras que constituyen el volumen sumergido del DAP. Por otro lado, los peces de mayor tamaño se encuentran más alejados de las balsas, y nadan alrededor de ellas sin mostrar dependencia directa de la misma. El principal factor que regula la composición de la ictiofauna y la abundancia es la estación del año, la cual genera una sucesión de especies como consecuencia de los procesos naturales de reclutamiento en la región.

D. José Manuel Vergara Martín, SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,

CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento en sesión permanente tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada "**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ICTIOFAUNA EN TORNO A LOS DISPOSITIVOS DE AGREGACIÓN DE PECES**" presentada por la doctoranda D. Ana Teresa Santana Ortega y dirigida por el Doctor José Juan Castro Hernández.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, defensa, tribunal y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a 20 de Octubre de 2015.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

**PROGRAMA DE DOCTORADO: MEDIO AMBIENTE Y GESTIÓN DE RECURSOS
MARINOS**

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ICTIOFAUNA EN TORNO
A LOS DISPOSITIVOS DE AGREGACIÓN DE PECES**

Tesis Doctoral presentada por Dña. Ana Teresa Santana Ortega para la obtención del Doctorado en Medio Ambiente y Gestión de Recursos Marinos en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y dirigida por el Dr. José Juan Castro Hernández.

El Director,

La Doctoranda,

Las Palmas de Gran Canaria, a 20 de octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ICTIOFAUNA EN TORNO
A LOS DISPOSITIVOS DE AGREGACIÓN DE PECES**

Doctorado en Medio Ambiente y Gestión de Recursos Marinos
Departamento de Biología
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
2015

José Juan Castro Hernández, Doctor en Ciencias del Mar y profesor titular de la Universidad del área de conocimiento de Zoología, adscrito al Departamento de Biología de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Hace constar:

Que el trabajo de investigación titulado “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ICTIOFAUNA EN TORNO A LOS DISPOSITIVOS DE AGREGACIÓN DE PECES”, realizado bajo mi dirección por la licenciada en Ciencias del Mar Dña. Ana Teresa Santana Ortega, se considera finalizado y puede ser presentado para su exposición y defensa como Tesis Doctoral en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Fdo.: Dr. José Juan Castro Hernández

Las Palmas de Gran Canaria, a 20 de octubre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los doctores Vicente Hernández García y Unai Ganzedo López por facilitarme los datos sobre la pesquería de túnidos del Océano Índico, así como ayudarme en su análisis e interpretación. Igualmente, quiero agradecer la inestimable ayuda de D. José Ángel Santiago Medina en la construcción de los DAPs, obtención de los datos de campo y de tipo biológico, y por su gran compañerismo. También agradecer a la tripulación del B/P Juan Carlos (hoy Juan Carlos I; Sene, Gilberto, Paco y Domingo), al Dr. Ángel Luque Escalona, D. Manuel Velázquez y D. Javier Pérez su ayuda en el seguimiento de los DAPs. También, agradecer la colaboración de la Dra. May Gómez Cabrera y su equipo con el estudio de la comunidad zooplanctónica.

Quisiera agradecer también la colaboración prestada por las tripulaciones de los buques cerqueros Campo Libre Alai, Demicu, Alakrana y Elai Alai, todos ellos pertenecientes a las flota de Pesquera Echebaster SLU, así como a D. Santiago Jiménez y D. José Carlos Mendoza por su asistencia en el muestreo y recogida de datos de las operaciones de pesca de estos cerqueros mientras operaban en el Océano Índico.

Agradecer también a la Viceconsejería de Pesca del Gobierno de Canarias y a Pesqueras Echebaster SLU la financiación de los proyectos que han permitido la recopilación de la información necesaria para la elaboración de esta tesis. Sin dicha financiación el trabajo hubiese sido simplemente imposible.

A mi familia, mis hijos, hermanos y mis padres, siempre han estado. No tengo palabras de agradecimiento para mi director de tesis, cualquier cosa que escriba no le hace mérito, pero aun así ha sido y es un pilar fundamental en mi vida, fuente de inspiración y aliento en momentos difíciles; y es gracias a él que este proyecto ha tenido fin.

RESUMEN

La mayoría de los objetos flotantes naturales a la deriva son introducidos en el océano desde zonas costeras y transportados por las corrientes hacia áreas de convergencia. Por ello, los DAPs son utilizados por algunas especies como indicadores de rutas favorables para la dispersión, al ofrecer refugio y aumentar la probabilidad de supervivencia de sus juveniles. Sin embargo, no todas las especies utilizan los dispositivos flotantes con este objetivo, sino como elementos de referencia que les ayudan a reestructurar sus cardúmenes a lo largo de sus rutas migratorias.

Los dispositivos de agregación de peces (DAPs) aprovechan esta respuesta natural en el comportamiento de los peces y, por esta razón, no es posible introducir ninguna característica específica en estas estructuras, que están siendo usadas masivamente en las pesquerías industriales de cerco, que permitan la atracción selectiva de atunes sin que atraiga a sus fases juveniles u a otras especies no objetivo (by-catch).

El comportamiento agregatorio entorno a los DAPs depende de la especie, de la fase de desarrollo y de talla de los peces. Como regla general se puede considerar que los individuos de pequeño tamaño se encuentran habitualmente muy cerca (en el rango de centímetros a pocos metros) de la estructura flotante, especialmente entre las estructuras que constituyen el volumen sumergido del DAP. Por otro lado, los peces de mayor tamaño se encuentran más alejados de las balsas, y nadan alrededor de ellas sin mostrar dependencia directa de la misma. El principal factor que regula la composición de la ictiofauna y la abundancia es la estación del año, la cual genera una sucesión de especies como consecuencia de los procesos naturales de reclutamiento en la región.

INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1. Comportamiento de la fauna ictiológica asociada a dispositivos flotantes anclados en aguas de Canarias	9
1.1. Introducción	9
1.2. Material y método	12
1.2.1. Elección del área idónea de instalación	12
1.2.2. Construcción de los dispositivos de agregación de peces	15
1.2.2.1. Construcción del flotador del dispositivo	15
1.2.2.2. Construcción de los anclajes	18
1.2.2.3. Coste de construcción e instalación	19
1.2.2.4. Instalación de los DAPs.....	20
1.2.2.5. Información a los pescadores.....	21
1.2.3. Seguimiento científico.....	23
1.2.3.1. Censos visuales.....	24
1.2.3.2. Análisis estadístico	26
1.2.3.3. Estudio de la comunidad zooplántonica	27
1.2.3.4. Estudios de la distribución en profundidad de la biomasa	28
1.2.3.5. Parámetros oceanográficos	31
1.2.3.6. Seguimiento de las capturas	31
1.3. Resultados.....	32
1.3.1. Colonización biológica de los DAPs	32
1.3.1.1. Invertebrados y algas.....	34
1.3.1.2. Comunidad zooplanctónica	35
1.3.1.3. Especies de peces.....	36

1.3.1.4. Cetáceos.....	38
1.3.2. Distribución de tallas de las especies de peces agregadas.....	38
1.3.3. Distribución en profundidad de la biomasa.....	43
1.3.4. Variaciones en la biomasa de peces agregados.....	46
1.3.5. Comportamiento de las especies.....	50
1.3.6. Análisis de contenidos estomacales.....	54
1.3.7. Capturas comerciales.....	56
1.3.8. Longevidad de los DAPs.....	57
1.4. Discusión.....	58
CAPÍTULO 2. Análisis del impacto de los DAPs utilizados en la pesquería comercial de túnidos en el Océano Índico.....	65
2.1. Introducción.....	65
2.2. Material y método.....	70
2.3. Resultados.....	72
2.3.1. Composición en especies de la captura.....	72
2.3.2. DAPs enmallantes vs no-enmallantes.....	75
2.3.3. Impacto sobre las capturas de especies objetivo de los ne-DAPs.....	75
2.3.4. Análisis del by-catch.....	75
2.4. Discusión.....	76
CAPÍTULO 3. Teoría general sobre la agregación de peces a objetos flotantes a la deriva.....	79
3.1. Introducción.....	79
3.2. ¿Cuándo un pez está agregado a un objeto flotante? (una definición de agregación).....	79
3.3. ¿Qué son los objetos flotantes?.....	83

3.4. ¿Por qué los peces se agregan cerca de objetos flotantes?	87
3.5. ¿Por qué los peces se asocian a objetos flotantes?	114
3.6. Especies de peces agregadas/asociadas a objetos flotantes	117
3.7. Ritmos de agregación y asociación de la fauna de peces.....	118
3.8. Generalización de la teoría.	121
CONCLUSIONES	123
REFERENCIAS	127
ANEXO. A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis	151

INTRODUCCIÓN GENERAL

La literatura científica sobre la tendencia que muestran los peces a agruparse en gran número en torno a elementos que rompen la homogeneidad de la estructura marina, bentónica o pelágica, es conocida desde hace mucho tiempo (Mortensen, 1917; Uda, 1933; Kojima, 1956; Galea, 1961; Hunter, 1968; Seaman, 2000). Muchas especies de peces forman importantes agregaciones en el entorno de estructuras sumergidas que destacan por su tridimensionalidad y ofrecen algún tipo de refugio, tales como pecios, arrecifes coralinos, montes submarino, etc., u otros elementos naturales o artificiales que deriven flotando en la masa de agua (i.e. masas de algas, basura flotante, medusas, ballenas, etc.). Los pescadores en todo el mundo aprovechan este comportamiento agregativo con el objetivo de aumentar sus capturas (Kojima, 1956; Biais y Taquet, 1990; Galea, 1961; Massutí y Vidal, 1997).

Quizás las primeras observaciones del comportamiento agregatorio de especies pelágicas en torno a objetos flotantes se remontan al siglo VIII a.C., y hayan quedado representadas en una vasija griega donde se muestran a varios peces piloto (*Naucrates ductor*) agregados bajo el cadáver flotante de un naufrago (Fig. 1). Este vaso fue encontrado en la isla de Isquia, Italia (Viñuales-Solé, 1996). No obstante, desde un punto de vista histórico, las primeras referencias del uso de DAPs para mejorar las capturas proceden del año 200 d.C., cuando el autor romano Opiano describe el uso de objetos flotantes para capturar dorados (*Coryphaena hippurus*) (Pepperell, 2001). En Japón, el empleo de estructuras flotantes similares (los tsukegi) se lleva usando para la captura de dorados y medregales desde mediados del siglo XVII (Nakamae, 1991). Igualmente, desde principios del siglo XX, en el Sudeste Asiático (Indonesia, Malasia y Filipinas) se han estado usando balsas ancladas, construidas de bambú (conocidas como rumpon, unjang y payao, respectivamente) para incrementar las capturas (Bergstrom, 1983). El comportamiento agregatorio ha sido posteriormente aprovechado por los pescadores de todo el mundo, tanto en

pesquerías artesanales como industriales de tipo pelágico (Anderson y Gates, 1997; Holland *et al.*, 2000).



Figura 1. El naufragio de Pitecusa. Grabado realizado sobre una cratera griega encontrada en la isla de Isquia (Italia). En el margen derecho se observan peces, posiblemente *Naucrates ductor*, agregados bajo un cadáver flotante.

La creación de arrecifes artificiales data de muy antiguo y, por ejemplo, en las "Guidelines for the Management of Artificial Reefs in the Great Barrier Reef Marine Park" de Australia los define como cualquier estructura construida o colocada sobre el fondo marino, en la columna de agua o flotando sobre su superficie con el propósito de crear una nueva atracción para los buceadores o concentrar o atraer plantas o animales con fines pesqueros (Ministerio de Medio Ambiente, 2008). No obstante, los arrecifes artificiales así definidos engloban un grupo muy heterogéneo de estructuras, que obliga a establecer diferencias entre ellos, e incluso a considerarlos como elementos bien diferenciados, no sólo por su estructura, tamaño, naturaleza, etc., sino por sus implicaciones en la pesca, protección de hábitats y especies, e impacto sobre el entorno inmediato. En este sentido, se hace necesario diferenciar al menos dos grandes categorías, (i) los arrecifes artificiales instalados sobre el fondo marino, tal y como se definen en la Convención Internacionales de Protección del Medio Ambiente

Marino del Atlántico Nordeste (Convención OSPAR), o en la legislación española (Real Decreto 798/1995 de 19 de mayo), y (ii) los dispositivos flotantes de agregación de peces (DAPs o FADs en sus siglas inglesas).

La instalación de arrecifes artificiales bentónicos "clásicos" tiene un origen muy antiguo, posiblemente como consecuencia de la construcción de elementos defensivos de puertos naturales (e.g. barcos vikingos hundidos en Skudelev para proteger la ciudad de Roskilde). Además, y como consecuencia de lo anterior, esta actividad defensiva dio lugar a su aprovechamiento para otros fines. Así, Plinio (Siglo I, d.C.) habla del transporte de piedras con semillas de ostra para facilitar su cultivo en otras zonas (Seaman y Sprague, 1991). También, en ciertas partes de la India se han lastrado árboles para construir arrecifes e incrementar las oportunidades de pesca desde hace más de 18 siglos (Sanjeeva-Raj, 1996, tomado de Seaman, 2000), y ya en el siglo XVII los pescadores japoneses depositaban piedras a escasa profundidad con el propósito de incrementar las capturas (Grove y Sonu, 1985). Igualmente, los pescadores del Pacífico llevan siglos fabricando objetos flotantes que anclan en sus zonas de pesca (Kojima, 1956, Kihara 1981, Biais y Taquet 1990).

Los primeros dispositivos agregadores de peces (DAPs) a nivel comercial fueron instalados en Filipinas a principios de la década de 1960-70 con el objeto de atraer y pescar rabil (*Thunnus albacares*) (Grennblarr 1979; Kihara, 1981), lo que posiblemente fue el punto de partida de muchas de las pesquerías actuales de este tipo en todo el Pacífico (Dempster y Taquet, 2004). Así, el uso de DAPs por parte de la flota industrial atunera norteamericana dio comienzo en 1976 (Marcille, 1979). Debido al éxito de los DAPs en concentrar peces, estos artilugios se han convertido en una forma de pesca importante en las pesquerías comerciales, de subsistencia y recreacionales de muchos mares y océanos tropicales y subtropicales del mundo (Pollard y Matthews, 1985; Frusher, 1986; Wilckins y Goodwin, 1989; Biais y Taquet, 1990; Holland *et al.*, 1990; Buckley y Miller, 1994; Friedlander *et al.*, 1994; Higashi, 1994; Kitamado y Kataoka, 1996; Dempster y Taquet, 2004; López, 2014). Desde 1982, muchos países cuentan con programas de instalación de DAPs (de San, 1982; Preston, 1982; Buckley *et al.*, 1989).

La pesca bajo objetos flotantes también cuenta con una amplia tradición entre los pescadores del Mediterráneo (Galea, 1961), especialmente de las islas de Sicilia, Malta y Baleares (Massutí y Morales-Nin, 1991; Massutí y Reñones, 1994). La pesca del dorado (*Coryphaena hippurus*) bajo objetos se viene realizando en aguas de Alicante desde el siglo XVIII (Massutí y Vidal, 1997). Sin embargo, y a pesar de la importancia de las pesquerías de túnidos, esta modalidad pesquera no ha tenido arraigo entre las comunidades pesqueras de la costa atlántica de la Península Ibérica. Así, en Canarias y a pesar del interés que suscita la pesquería de túnidos, no existe tradición en la instalación de objetos flotantes para agregar túnidos u otras especies pelágicas (e.g.: dorados, melvas, etc.). Pero, curiosamente, desde 1992, algunos barcos atuneros de cebo vivo de gran porte (> 50 TRBs), de la flota Canaria suelen utilizar como modalidad de pesca la creación de "mancha". Esta consiste en mantener los cardúmenes de túnidos agregados bajo los barcos de pesca (estos actúan como DAPs), permitiéndoles pescarlos en alta mar de forma continuada y durante largos periodos de tiempo (Ariz *et al.*, 1995). Una vez formada la mancha, esta es conducida (arrastrada) por aguas del Archipiélago hasta zonas donde el pescado responde mejor al cebo, y próximas al puerto base de los buques que la han formado.

En la mayoría de los casos, a lo largo del planeta, el uso más habitual de los arrecifes artificiales y de los DAPs es el de mejorar la pesca (Seaman, 2000; Pollard y Matthews, 1985; Holland *et al.*, 1990). Así, en la actualidad, muchos países tienen programas de creación de arrecifes artificiales como una forma de incrementar las posibilidades de pesca o establecer áreas de protección y recuperación de zonas intensamente pescadas, incluso han desarrollado normativa específica para la instalación y seguimiento de los mismos, como es el caso de España (Ministerio de Medio Ambiente, 2008). Sin embargo, en el caso de los DAPs, y a pesar de que desde 1982 muchos países han establecido planes de instalación de DAPs fijos o anclados para el desarrollo de sus pesquerías artesanales (Beverly *et al.*, 2012; López, 2014) (Fig. 2), el control sobre este tipo de modalidad en las pesquerías oceánicas es relativamente escaso, posiblemente por el propio carácter derivante de la mayoría los dispositivos en uso. La mayoría de las pesquerías pelágicas, orientadas a la captura de túnidos, utilizan DAPs que derivan con las corrientes a lo largo de vastas zonas

oceánicas (Bard *et al.*, 1985; Buckley *et al.*, 1989; Cayré y Marsac, 1991; Ariz *et al.*, 1999; entre otros).

Los peces, especialmente aquellos de hábitos pelágicos, muestran cierta tendencia a agregarse en torno a objetos flotantes, tanto en la superficie como a media agua, independientemente de su naturaleza. Así, los peces se agregan bajo objetos de origen natural (tales como masas de algas a la deriva, ballenas, grandes peces, ramas y troncos de árboles e incluso cadáveres) o artificial (basura, boyas, jaulas de cultivo de peces e incluso plataformas petrolíferas y barcos en navegación) (Franks, 2000; Boyra *et al.*, 2004; Dempster y Taquet, 2004). Estos objetos flotantes pueden estar derivando en las masas de agua o encontrarse anclados a ciertos puntos de la costa (i.e. una boya). Por tanto, esta enorme diversidad en la naturaleza de los objetos flotantes, formas, tamaños, colores y el que deriven o no, ha motivado que se hayan desarrollado multitud de estudios orientados a explicar este comportamiento de los peces (Fréon y Dagorn, 2000; López, 2014), pero también ha dado lugar al desarrollo de pesquerías que intentan sacar el máximo beneficio del mismo fenómeno (Fonteneau y Hallier, 2003; Sacchi, 1986).



Figura 2. Agregación de peces bajo un dispositivo flotante anclado.

En pesquerías de carácter industrial orientadas a túnidos se obtienen capturas promedio de 40 toneladas bajo un objeto, en comparación a las 20 t que se obtienen cuando se pescan bancos libres (Fonteneau y Hallier, 1993). En algunos momentos se han superado las 2.000 toneladas de túnidos en un único lance (Sacchi, 1986). Además resulta más fructífera la operación de pesca, por mostrar los peces en esta situación, una menor tendencia a escapar del arte de pesca (en banco libres los atunes escapan antes de cerrarse el cerco en un 50% de las ocasiones, mientras que bajo objetos flotantes lo hacen sólo una de cada diez veces -Fonteneau y Hallier, 1993). En este sentido, las capturas de túnidos con DAPs realizadas por la flota cerquera industrial española en el Atlántico Oriental han representado en el periodo 2010-12 entre el 65 y 77% de las capturas totales declaradas (Delgado de Molina *et al.*, 2014). Los rendimientos de la flota española que utiliza este sistema de pesca son elevados: 42 toneladas por lance con objetos artificiales y 40 con los naturales, mientras que otras asociaciones o bancos libres proporcionan entre 17 y 28 toneladas por lance (Pallarés *et al.* 1996).

Otro aspecto importante del uso de DAPs, derivantes o fijos, es que consiguen agregar a un gran número de peces, disminuyendo considerablemente el tiempo de búsqueda y, por tanto, también el esfuerzo pesquero (Brock, 1985). Es decir, existe un aumento de la capturabilidad, que incluso puede mantener una relación inversa con la abundancia, por el efecto de concentración de biomasa que tienen estos dispositivos. Este fenómeno invalida la aplicabilidad de modelos clásicos de evaluación de stocks, cuestión que aún no está adecuadamente solucionada.

Hoy en día se emplean los DAPs, estos pueden ser flotantes (de superficie) o sumergidos, fijos o derivantes. En todos los casos son estructuras muy sencillas y de muy bajo costo, representando entre el uno y dos por ciento de la captura que generan (Biais y Taquet, 1990). Sus formas son muy variadas, los fijos de superficie consisten básicamente en una plataforma flotante unida a un ancla por medio de una cuerda. Igualmente, los semi-sumergidos constan también de ancla y cuerda e incorporan además una boya que da flotabilidad al dispositivo, este suele estar constituido por tiras de plásticos, redes inservibles u otros objetos que se colocan a lo largo de la

cuerda (Fig. 3). Pueden ir equipados con luces, accionadas por energía fotovoltaica, y reflectores de radar (Anderson y Gates, 1996). La única diferencia entre estos y los derivantes radica en la falta de anclaje de éstos últimos. Además, éstos DAPS derivantes suelen ir unidos a boyas ecosonda, que emiten información sobre su posición y la abundancia de peces agregados bajo la estructura flotante al barco atunero. Scott y López (2014) estiman que el número de DAPs derivantes instalados en los océanos del mundo, principalmente en el Pacífico, rondan los 91.000.

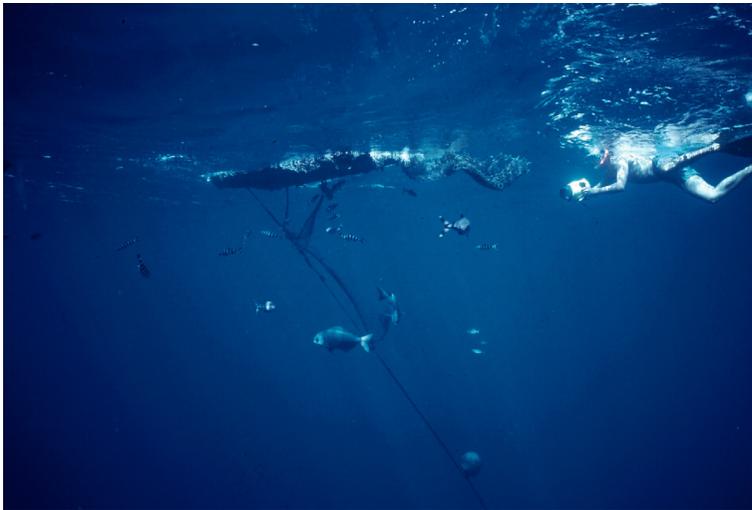


Figura 3. Estructura sumergida de un Dispositivo de Agregación de Peces anclado. Del núcleo del flotador cuelgan trozos inservibles de redes que generan el volumen sumergido o cola del dispositivo.

Los primeros estudios científicos que intentan explicar las causas que determinan el comportamiento agregatorio de los peces bajo objetos flotantes son los realizados por Gooding y Magnuson (1967) y Hunter y Mitchell (1967), seguidos posteriormente por otros trabajos de importancia significativa (Wickham *et al.*, 1973; Wickham y Russell, 1974; Greenblatt, 1979; Matsumoto *et al.*, 1981; Rountree, 1989; Cayré, 1991; entre otros). Los métodos de estudio de la fauna asociada a los objetos flotantes han sido básicamente cuatro tipos: 1. La observación directa (Rountree, 1989,

1990; Parin y Fedoryako, 1999). 2. La realización de pesca (Hunter y Mitchel, 1967, Massutí y Reñones, 1994). 3. Una combinación de los anteriores (Wickham y Rssel, 1974), 4. El marcaje con transmisores de ultrasonidos (Brill *et al.*, 1984; Holland *et al.*, 1990; Cayré, 1991; Cayré y Marsac, 1993); y el uso de información pesquera dada por las radio-eco boyas asociadas a los FADs de las flotas atuneras (López, 2014).

Se han propuesto varias hipótesis para tratar de explicar este comportamiento. La que cuenta con más aceptación es la hipótesis de protección, según esta los peces se congregan en torno al objeto buscando la protección que este pueda ofrecerles frente a sus predadores (Hunter y Mitchel 1968, Feigebaum *et al.*, 1989). La relación con factores de tipo alimenticio es otra de las hipótesis propuesta (Gooding y Magnuson 1967). La hipótesis del punto de referencia sugiere que la ruptura que producen los DAPs en la uniformidad del océano, bien lumínica (se habla también de fototaxia negativa) o de color, es un motivo de atracción directa, o puede actuar como un punto de referencia para los peces (Holland *et al.* 1990, Hunter y Mitchel 1967). No obstante, tal y como se desprende de la bibliografía existente, son muchas las hipótesis propuestas para explicar este fenómeno. Posiblemente este comportamiento no sea una respuesta a un único motivo, sino a una combinación de múltiples factores, algunos de ellos elevadamente complejos, que influyen directamente en la conducta individual y social de los peces (Fonteneau, 1992; Hall, 1992).

El objetivo de esta tesis es estudiar este fenómeno y aportar datos que permitan aumentar el conocimiento de este complejo comportamiento de los peces e intentar establecer una teoría general sobre el origen y función del mismo. Igualmente, se pretende aportar datos sobre su utilidad para la pesca y el impacto que estos pueden producir en el ecosistema pelágico.

CAPÍTULO 1

Comportamiento de la fauna ictiológica asociada a dispositivos flotantes anclados en aguas de Canarias

1.1.- Introducción

Los estudios realizados a lo largo de la costa atlántica de África sobre la fauna asociada a objetos flotantes son escasos y están básicamente centrados en las pesquerías industriales de túnidos, con cerco, bajo objetos flotantes a la deriva (Wood, 1989; Fonteneau, 1992; Kwei y Bannerman, 1993). Estas pesquerías asociadas a DAPs suelen generar una mayor cantidad de descartes y by-catch que aquellas que actúan sobre bancos libres de túnidos (Ariz *et al.*, 1999; Hallier y Parajua, 1999; Fonteneau *et al.*, 2000; Amandè *et al.*, 2010). Esta modalidad de pesca con DAPs, donde se capturan gran cantidad de individuos de talla no comercial (Amandè *et al.*, 2010), está causando graves problemas, no sólo desde el punto de vista de la conservación de las especies (Fontaneau *et al.*, 2000; Dagorn *et al.*, 2013), sino incluso para la propia evaluación y gestión de las pesquerías. Así, gran parte de los descartes de juveniles, principalmente *Katsuwonus pelamis*, son registrados bajo la denominación de "Faux poisson" y descargados principalmente en Abidjan (Costa de Marfil) (Amandè *et al.*, 2010), lo que los hace difícilmente computables en las estadísticas de capturas de una especie determinada (ICCAT, 2014; Morgan, 2011). En este sentido, ICCAT ha establecido moratorias de pesca, prohibiendo el uso de DAPs entre Noviembre y Enero (desde 1997 a 2005) en una amplia zona del Golfo de Guinea, pero con resultados muy inciertos (Goujon, 2004a,b; Torres-Irineo *et al.*, 2011).

Por otro lado, la pesca en aguas de Gran Canaria es netamente artesanal y comprende varios tipos de actividades que se pueden incluir en tres grandes grupos

(Bas *et al.*, 1995), sin que ninguna de ellas se ayude del uso de DAPs en su desarrollo. Por una parte, la pesca litoral realizada con embarcaciones pequeñas o desde la misma orilla y que se orienta principalmente a la captura de peces bentónicos y bentopelágicos, principalmente espáridos, serránidos, viejas, pulpos, y unas pocas especies de crustáceos (García-Cabrera, 1970; Bas *et al.*, 1995; Melnychuk *et al.*, 2001). Por otra parte, pequeños grupos de cerqueros (traíñas) de mediano tamaño se concentran en distintos puertos, principalmente al sur-oeste de las Islas, dedicados a la captura de especies pelágico-costeras, sobre todo caballa y sardina (Bas *et al.*, 1995). Estas dos pesquerías se ven sometidas a cierta estacionalidad muy claramente ligadas a las arribadas de túnidos, ya sea a finales de la primavera y verano o a finales del otoño, dependiendo de la ecología de dichas especies y de las condiciones climáticas (González-Ramos, 1992; Ganzedo-López, 2005). Durante lo que se denomina “zafra”, gran parte de los barcos de pesca abandonan parcialmente sus artes y aparejos tradicionales (nasas, cordeles, trasmallo o traíñas) para dedicarse plenamente a la pesca de atunes (González-Ramos, 1992), a través del método del cebo vivo.

En las islas, la importancia de la pesca de túnidos radica en los altos volúmenes de capturas obtenidos durante su arribada y que reportan un significativo beneficio económico para los pescadores (González-Ramos, 1992; Bas, *et al.*, 1995; Trujillo-Santana, 2010). No obstante, la flota de atuneros de las islas es muy heterogénea, aunque se puede agrupar bajo dos categorías: barcos de pequeño y mediano porte (menos de 50 TRBs) y artesanales de cebo vivo de gran porte (mayores de 50 TRBs). Así, mientras los primeros limitan su acción extractiva a las aguas en torno a las islas, los segundos se pueden desplazar a aguas alejadas del Archipiélago, faenando en caladeros de Marruecos, Mauritania o Madeira (Delgado de Molina *et al.*, 2012).

Por otra parte, desde 1992, algunos de los barcos de cebo vivo de mayor porte (> 50 TRBs), de la flota Canaria suelen utilizar la técnica de pesca con "mancha", que consiste en mantener los cardúmenes de túnidos agregados bajo los barcos de pesca (estos actúan en cierto modo como DAPs), permitiéndoles pescarlos en alta mar de forma continuada y durante largos periodos de tiempo (Ariz *et al.* 1995). Estos

cardúmenes fijados bajo los barcos reciben el nombre de manchas. Una vez formada la mancha, esta es conducida por aguas del Archipiélago hasta zonas donde el pescado responde mejor al cebo, y próximas al puerto base de los buques que la han formado. Estos desplazamientos se realizan controlando el comportamiento de los peces. El barco que actúa como un DAP, una vez llenas sus bodegas, es reemplazado por otro que ocupa su lugar mientras el primero se dirige a puerto para descargar, relevándose en esta posición distintos buques (Ariz *et al.*, 1995). Las manchas se forman lanzando carnada muerta (engodo con sardina o caballa troceada) mientras el barco se desplaza, o se sitúa en un punto concreto, sobre aguas de 1000 a 2000 m de profundidad, próximas al talud continental. Estas manchas también son formadas tras fondear sobre fondos rocosos (maricos) localizados entre 100 y 150 m de profundidad, y engordar con carnada muerta de forma continua. No obstante, esta modalidad de pesca se realiza también en otras zonas del Atlántico oriental desde comienzos de la década de 1990, como una variante del uso de objetos flotantes (Castro *et al.*, 2001; Bannerman *et al.*, 2005).

No obstante, y a pesar del particular caso de "las manchas", se puede decir que en Canarias no existe una tradición de utilizar objetos flotantes para la pesca (existe un caso, en La Gomera, que podría servir de único antecedente -García-Cabrera, 1970- relacionado con la pesca de túnidos). Por otra parte, existe un estudio sobre las comunidades de peces que se agregan bajo objetos flotantes en comparación con arrecifes artificiales (Bortone *et al.*, 1994). En este estudio, los autores observaron un incremento en el número de especies atraídas a la zona de estudio, en comparación con el período anterior a la instalación de los dispositivos.

El objetivo de este capítulo es el estudiar la composición de la fauna, principalmente ictiológica, agregada bajo dispositivos flotantes anclados en aguas de Canarias (particularmente en Gran Canaria), así como determinar su comportamiento y distribución temporal. Igualmente, se pretende hacer una primera evaluación de la viabilidad del uso de estos dispositivos como apoyo a la pesca de túnidos por parte de los barcos artesanales de pequeño y mediano porte (menos de 50 TRBs) de la flota insular.

1.2.- Material y método

1.2.1.- Elección del área idónea de instalación

Durante la primera fase del proyecto, previamente al fondeo y construcción de los Dispositivos de Agregación de Peces, se realizó un estudio de las estadísticas de pesca disponible y del poder de pesca de los distintos puntos de desembarco del litoral de Gran Canaria. Esta información fue complementada con algunas visitas a los puntos más característicos con objeto de comprobar *in situ* el potencial de captura y la variedad de especies existentes. En este análisis se dio más importancia a aquellos puertos con mayor índice de captura de túnidos (especialmente bonito-listado). Otro de los aspectos que se tuvieron en cuenta fue la oceanografía del área, es decir, la frecuencia con que se registraban fuertes temporales, así como la amplitud temporal de los períodos de bonanzas. Igualmente se evaluó el flujo de barcos, tanto profesionales como recreativos, en el área de pesca.

Del estudio destacaron de forma notoria los puertos de Mogán y Arguineguín, no solo por concentrar la mayor parte de la flota pesquera artesanal atunera de litoral, sino porque además registran las mayores capturas de especies de interés.

Por otro lado, el área sur de Gran Canaria muestra la ventaja de poseer una plataforma insular más amplia que el resto de la Isla, lo que la hace más idónea para las experiencias de fondeo. Además, este sector de la Isla se encuentra al abrigo de los vientos predominantes del noreste, lo cual garantiza de alguna manera una mayor vida útil de los DAPs en lo referente a pérdidas o arrastres por las corrientes o vientos. Sin embargo, esta área presenta el serio inconveniente de soportar un tráfico marítimo muy intenso, especialmente de embarcaciones de recreo. Esto supone un riesgo de pérdida de los DAPs, debido a que puedan ser utilizados como puntos de anclaje por estas embarcaciones y, como consecuencia, ser arrastrados hacia aguas más profundas y hundidos, o simplemente la causa de rotura de las cuerdas de fondeo.

Las dos condiciones necesarias que debe cumplir el área de fondeo de los DAPs son las siguientes:

1. Que en el lugar se hayan visto peces, sobre todo atunes y especies afines.
2. Que las características del fondo garanticen un correcto anclaje. Si el fondo es muy inclinado y duro, el ancla puede desplazarse y arrastrar el DAP hacia aguas más profundas, donde con toda probabilidad, se hundiría. Por consiguiente, el lugar idóneo es sobre un fondo liso y blando, donde el anclaje no se desplace sino que se hunda en el sedimento. Es muy importante que no se encuentre muy próximo a un arrecife, restos de barcos hundidos o cualquier otro objeto que pueda romper el cabo de fondeo.

Tabla 1.1. Coordenadas geográficas y profundidad del área en la que se fondearon los Dispositivos de Agregación de Peces en el sur de la isla de Gran Canaria.

DAP	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (m)	Fecha
1	27°42.11'	15°36.15'	51	01.04.95
2	27°40.34'	15° 38.17'	100	01.04.95
3	27°40.59'	15°42.09'	98	01.04.95
4	27°42.52'	15°44.23'	55	01.04.95
5	27°41.36'	15°35.51'	133	04.08.96
6	27°40.47'	15°37.39'	151	04.08.96
7	27°40.29'	15°39.26'	364	04.08.96
8	27°40.47'	15°40.41'	161	04.08.96
9	27°41.09'	15°41.56'	126	04.08.96
10	27°40.54'	15°44.15'	351	04.08.96
11	27°43.45'	15°47.18'	142	04.08.96
12	27°44.22'	15°49.22'	480	04.08.96
13	27°40.03'	15°41.02'	300	28.09.96
14	27°41.02'	15°44.01'	150	28.09.96
15	27°41.07'	15°42.01'	122	01.04.97
16	27°40.44'	15°40.30'	144	01.04.97

En la determinación del área idónea donde fondear los DAPs, se tuvieron en cuenta las opiniones y sugerencias de los pescadores. Tras estas consultas se seleccionaron las posiciones de fondeo (Tabla 1.1).

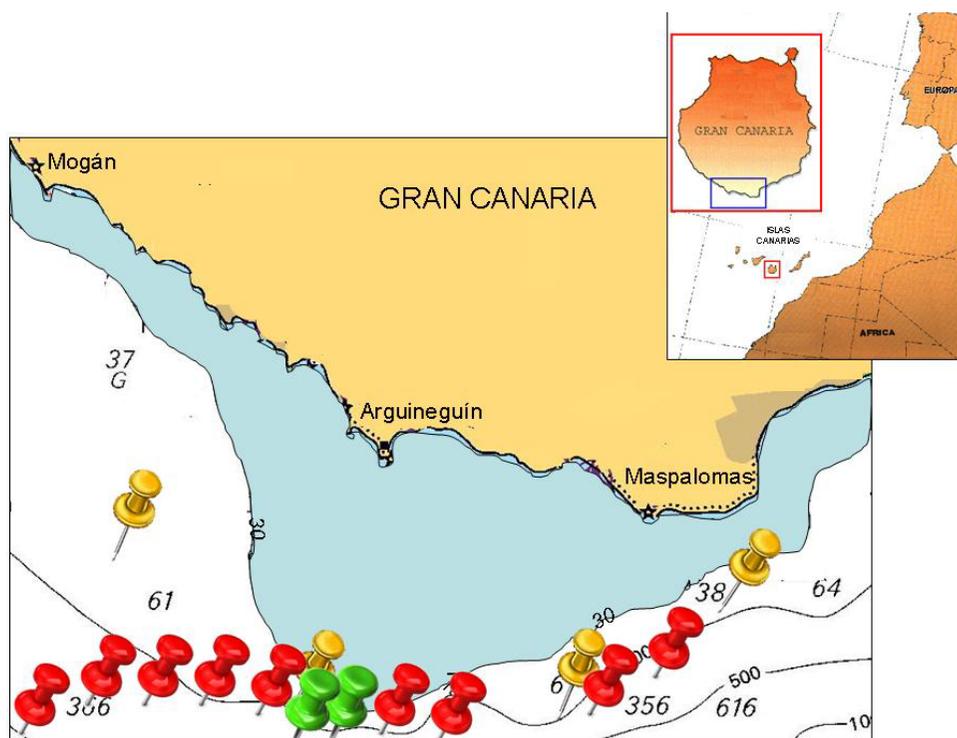


Figura 1.1. Zona geográfica al sur de Gran Canaria donde se instalaron los Dispositivos anclados de Agregación de Peces entre los años 1995 y 1997. (marcas amarillas-1995; marcas rojas-1996 y marcas verdes-1997)

Las posiciones se seleccionaron en función de la estructura de la plataforma, ya que según los pescadores eran áreas obligadas de paso para los túnidos, especialmente bonito-listado. Según estos, la estructura del fondo constituía una barrera que les obligaba a pasar por sus cercanías. El área frente a la punta de Maspalomas fue uno de estos puntos de fondeo. Otros puntos de fondeo se

seleccionaron por la existencia de áreas de concentración de peces. Estas áreas conocidas por los pescadores como “mariscos” son estructuras rocosas que sobresalen de entre el fondo arenoso. Actúan como arrecifes de un importante potencial pesquero por la variedad de especies que concentran. Algunos de los fondeos fueron realizados en las proximidades de los caladeros conocidos como “Los Gutiérrez”, “Felipe”, “De Ramos”, “Rosario” y “Mangorrero”, situados frente a la costa comprendida entre las localidades de Pasito Blanco y Arguineguín respectivamente (Figura 1.1).

1.2.2.- Construcción de los dispositivos de agregación de peces

1.2.2.1.- Construcción del flotador del dispositivo

En la construcción de los Dispositivos de Agregación de Peces (DAPs) se ha tratado de combinar diversos factores, como son el bajo coste de los materiales a emplear, la resistencia y duración, y facilidad de su manejo en las operaciones de pesca. Además es importante tener en cuenta la necesaria efectividad de los dispositivos en su diseño. Aunque se puede utilizar una gran infinidad de utensilios más o menos comunes, tales como garrafas de plástico atadas a ramas de palmera al igual que los “cannizzo” utilizados en el Mar Tirreno por la flota artesanal de Mesina (Sicilia, Italia) (Potoschi, 1996), optamos por bloques de corcho para construir el núcleo de las balsas.

Se optó por la fabricación de dispositivos ligeros y de poca solidez frente a los dispositivos rígidos y de gran dureza. Esta elección está basada en la necesidad de permitir su adaptación a las condiciones oceanográficas y en segundo lugar para disminuir su peligrosidad para la navegación, ya que no hay que olvidar que el área elegida para el fondeo está frecuentada por un gran número de embarcaciones pequeñas y de considerable fragilidad. Además el balizamiento, necesario cuando se trata de los dispositivos rígidos y peligrosos para la navegación, supone un importante gasto adicional no solo en la fase de construcción sino sobre todo en la de

mantenimiento. Hay que añadir que se desconocen las posibles interferencias en el fenómeno a estudiar que podría crear la presencia de una luz intermitente en los períodos de oscuridad.

Los dispositivos superficiales se determinaron más ventajosos que los dispositivos sumergidos (“de media agua”), especialmente debido a la mayor facilidad para su localización y a la creación de mejores condiciones para el empleo de una mayor variedad de artes de pesca. Los dispositivos sumergidos permiten preferentemente la pesca con curricán y con cebo vivo, pero entrañan dificultades a la hora de emplear el cerco, tal y como se desarrolla habitualmente en la pesca de peces pelágicos costeros, pues el dispositivo interfiere en el mecanismo de cierre y en el izado. Sin embargo, permiten la pesca con redes de cerco, tal y como se usan en Mallorca las redes “lampugueras” (Morales-Nin *et al.*, 1996; Deudero *et al.*, 1999).

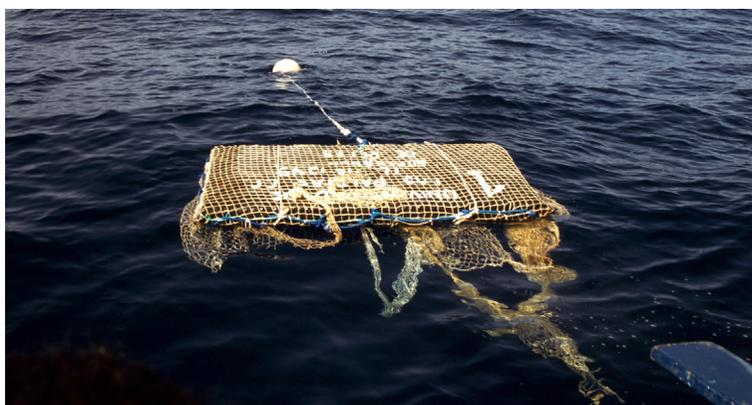


Figura 1.2. Dispositivo de agregación de peces donde se observa la boya de fondeo y el recubrimiento del núcleo del flotador con paños de redes viejas.

Por todo ello, se construyeron dieciséis Dispositivos de Agregación con las siguientes características: como núcleo del flotador se emplearon bloques de espuma de polietileno expandido de 200x100x12.5 cm. Estos fueron forrados con una lámina

de polietileno de color negro, sellado por termofusión, de manera que garantizase una buena protección del núcleo central frente a la acción del sol y las agregaciones de los organismos, especialmente las aves. El color negro evita el efecto que pueda tener sobre los peces el color blanco del núcleo de poliestireno. Por último, el conjunto fue recubierto con un paño de red con objeto de mantener el DAP operativo, incluso en caso de rotura, y facilita la unión del flotador con la cuerda de fondeo (Fig. 1.2).

Con el fin de aumentar el volumen sumergido del Dispositivo se añadieron restos colgantes de redes de aproximadamente 2 m de longitud. Estas no tienen por objeto enmallar sino ofrecer refugio a los peces agregados y aumentar el volumen sumergido, así como la superficie para la fijación de los organismos sésiles y algas. El conjunto del flotador no supero un peso de 10 kg (Fig. 1.3).



Figura 1.3. Estructura sumergida (cola) del dispositivo de agregación de peces construido con resto de redes

1.2.2.2.- Construcción de los anclajes

Uno de los elementos más importantes del DAP es el anclaje, este debe de ser pesado y poco propenso a ser arrastrado por el fondo.

Para el anclaje de cada dispositivo se construyó un fondeo de hormigón de 200 kilos de peso aproximadamente. Debido a la poca maniobrabilidad que presenta un anclaje de estas dimensiones, sobre todo a la hora de su fondeo, este se construyó en cuatro piezas de unos 50 kilos de peso cada una. Estas piezas eran de forma cúbica (20 cm de lado) para dificultar el arrastre y la deriva del mismo (Fig. 1.4). Es conveniente resaltar aquí que estos anclajes pueden ser construidos con materiales de desecho (chatarra, motores viejos, etc.; siempre desprovistos de materiales contaminantes y/o tóxicos, tales como pinturas y grasas) o incluso con piedras. Las cuatro piezas que constituían el anclaje fueron unidas entre sí por medio de cadenas de aproximadamente un metro de longitud.

El flotador se unió al anclaje por medio de una cuerda sintética de longitud superior en un 25 % a la profundidad del área de fondeo, con objeto de evitar el



Figura 1.4. Bloques de hormigón utilizados para anclar los DAPs al fondo. Para reducir el arrastre y facilitar la fijación de los mismos al fondo, se añadieron varas de hierro.

hundimiento por efecto de las corrientes o mareas. El extremo inferior de la cuerda se unió, a través de un tornillo giratorio, a una cadena de 5 metros de longitud a continuación de las cadenas de los anclajes, con el fin de evitar el desgaste o rotura de la cuerda por contacto directo con las aristas de los bloques. Por otro lado, el extremo superior de la cuerda de fondeo se unió a través de otro tornillo giratorio a una boya de 300 cm³ (Fig. 1.4). En aproximadamente la mitad de la profundidad de fondeo se añadió otra boya de similares características, con el objeto de compartir el peso de la cuerda una vez hidratada.

1.2.2.3.- Costes de construcción e instalación

El análisis de los costes de construcción de los DAPs es un aspecto importante a la hora de analizar el rendimiento de la pesquería, puesto que un coste elevado de construcción y una baja captura obtenida harán que la pesquería bajo objetos flotantes no resulte rentable. Igualmente, los costes de construcción a los que se harán referencia en este apartado deben ser tenidos en cuenta con precaución, ya que se dan datos referentes a una unidad experimental, lo cual encarece el resultado final. Esta unidad experimental presenta características de construcción que no tienen por qué ser utilizadas en una fase de explotación, como por ejemplo la construcción de los anclajes de hormigón por parte de personal especializado (se pueden usar piedras o cualquier otro tipo de utensilio lo suficientemente pesado como para que sirva de anclaje).

A los costes de los DAPs experimentales se le ha añadido el importe del traslado de las mismas desde el punto de construcción (Campus Universitario de Tafira) hasta el puerto de embarque (Arguineguín) y los gastos de alquiler de la embarcación apropiada para su fondeo. Evidentemente, estos gastos durante la fase de explotación no existirán, por ser construidos en las mismas instalaciones del puerto de embarque, o serán más reducidos, ya que los pescadores utilizarán sus propias embarcaciones de pesca a la hora de instalar sus DAPs.

El coste global de construcción fue de 5384 euros (sin tener en cuenta la mano de obra empleada en la construcción), lo que da un valor por unidad construida de 336 euros. Sin embargo, el coste individual de cada unidad dependió principalmente de la profundidad de fondeo, por lo cual podemos dividir el coste en dos apartados: 1. Por un lado el coste fijo que representa la construcción del DAP incluyendo su transporte hasta el punto de fondeo, y 2. El coste variable que dependerá de la profundidad del área de fondeo. Por tanto, el coste fijo de cada DAP fabricado fue de 158,7 euros. Esto quiere decir que los costes individuales de cada DAP utilizado oscilaron entre 179 euros, los fondeados sobre la isobata de 50 metros, y 333,6 euros, los fondeados sobre la isobata de 500 metros.

Según la bibliografía consultada (Biais y Tanquet, 1990), los costes de construcción de los DAPs oscilan entre el uno y dos por ciento de la captura que generan. Teniendo en cuenta este dato, y sabiendo que durante la campaña de pesca de 1996 junto a un único DAP fondeado sobre la isobata de 500 m se capturaron más de 200 toneladas de túnidos (especialmente bonito listado y albacora), con un valor en el mercado próximo a los 252.000 euros, se puede decir que el coste de este DAP representó el 0,13 % de la captura que generó, muy por debajo de los dado en la bibliografía.

1.2.2.4.- Instalación de los DAPs

Previamente a la instalación de los DAPs en los lugares elegidos, se solicitó el correspondiente permiso a la Capitanía Marítima de Las Palmas de G. C., que dio su autorización en cada una de las ocasiones en las que fue requerida. Los fondeos se efectuaron el día 1 de abril de 1995, el 4 de agosto y 28 de septiembre de 1996 y el 1 de abril de 1997, utilizando el barco pesquero “Juan Carlos” (12 metros de eslora) con base en el puerto de Arguineguín.

Las posiciones de fondeo citadas en la tabla 1.1 se establecieron con ayuda de un receptor FPS portátil (Pyxis IPS-360m, Sony). Este mismo GPS ha sido usado para la posterior localización y seguimiento de los DAPs.

En la maniobra de fondeo se procedió inicialmente a lanzar la balsa al agua, seguida de la boya y toda la cuerda. Una vez que el DAP estaba lo suficientemente alejado del barco, se procedió al lanzamiento de los anclajes. La operación de lanzamiento de los anclajes es la que encierra un mayor peligro, y para ello se situaron las cuatro unidades sobre dos tableros apoyados en la banda del barco, e izando simultáneamente los tablones por el extremo más interno se dejaron caer los fondeos al agua.

En los primeros DAPs, durante los días de intensa corriente, la boya de superficie quedaba sumergida debido a la fuerza de la corriente y al efecto del peso de la cuerda. Sin embargo, en las posteriores instalaciones se colocó siempre una segunda boya de flotación, aproximadamente hacia la mitad de la profundidad de fondeo, con el objeto de evitar que todo el peso de la cuerda hidratada descansara sobre el flotador de superficie y la balsa.

1.2.2.5.- Información a los pescadores

Un paso importante fue mantener informados a los pescadores de la zona sobre las características de los DAPs, así como su finalidad. Antes de efectuar el fondeo de los dispositivos de agregación de peces se mantuvieron contactos con los patrones mayores de las cofradías de pescadores de Arguineguín y Mogán, a los que se les informó sobre las características del proyecto y los objetivos que se pretendían alcanzar con el mismo. Ambas cofradías mostraron su interés por colaborar en la consecución de los mismos ya que entendieron ser los beneficiarios directos. Sin embargo, y ante la posibilidad de que la información no llegase a todos los posibles implicados en la pesca profesional del área, se optó por organizar una conferencia el día 18 de abril de 1995 en Arguineguín, a la cual se convocó a todos los pescadores

de las cofradías de Arguineguín y Mogán. Desgraciadamente, únicamente asistieron algunos pescadores de la primera de las cofradías. En esta conferencia se les explicó la forma en que se habían construidos los DAPs, un pequeño repaso de la información disponible, así como su utilidad y efectividad en otras partes del mundo. Los pescadores mostraron abiertamente su interés al mismo tiempo que indicaban la necesidad de fondear un mayor número de dispositivos en aguas más alejadas de la costa, especialmente destinados a túnidos como *Thunnus thynnus*, *T. albacares* y *T. obesus*.

De igual manera, se intentó informar de la presencia de los DAPs y sus objetivos científicos a los pescadores deportivos que frecuentaban la zona, especialmente aquellos con base en Puerto Rico, Pasito Blanco y Mogán. Esta labor informativa fue mucho más difícil, y por los resultados obtenidos, menos fructífera. Los pescadores deportivos, o al menos una representación de los mismos, fueron informados personalmente, uno a uno, sobre las características del proyecto y de la situación exacta de las balsas. A los mismos, se les pidió su colaboración en la recogida de información de capturas hechas junto a los DAPs, y para ellos se les proporcionó una serie de estadillos en los cuales se debía anotar la captura realizada, la especie y la posición del DAP junto al que había sido obtenida la captura. La mayor parte de esta información no ha podido recuperarse por la dificultad de localizar a cada uno de los patrones de embarcaciones deportivas que se habían encargado de esta tarea.

En julio de 1996, antes de proceder al fondeo de los nuevos dispositivos, se solicitó una nueva reunión con los pescadores de las cofradías de Mogán y Arguineguín, con el objeto de informarles sobre los nuevos fondeos y de los resultados obtenidos durante el año anterior. En el puerto de Mogán se pudo contactar con media docena de pescadores, a los que se les mostró un video con imágenes de las agregaciones conseguidas durante el año anterior. La dirección de la cofradía se comprometió a informar a sus afiliados de la instalación de los DAPs y del objeto de los mismos, así como repartir una serie de estadillos donde se registraran las capturas obtenidas junto a los mismos. Por otro lado, en el puerto de Arguineguín se pudo reunir

a casi medio centenar de pescadores, aprovechando la convocatoria de un curso de manejo de aparatos de radio, a los que se les mostró el mismo video y, a todos aquellos que se ofrecieron a colaborar, se les entregó una carpeta con los estadillos anteriormente mencionados.

1.2.3.- Seguimiento científico

Entre abril y octubre de 1995 y a partir de agosto de 1996 hasta junio de 1997, se realizaron una serie de observaciones sobre los niveles de colonización, la ictiofauna asociada a los DAPs y la biomasa zooplanctónica de la zona, con una periodicidad casi quincenal. Durante 1995 se realizaron 26 visitas a los DAPs, mientras que durante 1996-97 el número de visitas efectuadas fue de 29. Durante cada una de las visitas dos buceadores, en esnórquel, realizaron censos visuales con el método del punto fijo, apoyados con grabación submarina, de los peces que se encontraban dentro del área de visibilidad (la visibilidad alrededor de los DAPs superaba generalmente los 20 metros), contabilizando el número de individuos de cada especie y la talla aproximada.

Los datos obtenidos (para los censos) fueron el número de individuos por censo (abundancia), el peso por especie y total por censo (biomasa) y el número de especies por censo (diversidad). La talla observada se transformó en peso utilizando las relaciones talla-peso existentes en la literatura para las especies censadas, o a partir de datos propios del Equipo de Investigación. Simultáneamente se media, a visu, el grado de colonización de la parte flotante del dispositivo y de la cuerda de fondeo dentro del campo de visión. Junto a cada DAP se tomaron muestras de la comunidad zooplanctónica tanto justo debajo del dispositivo como a unos 100 metros retirado del mismo. Siempre que fue posible se obtuvieron muestras de peces.

1.2.3.1. Censos visuales

Los censos visuales se efectuaron utilizando el método descrito por Bohnsack y Bannerot (1986), Bortone y Bohnsack (1991) y Dolloff *et al.*, (1996), teniendo en cuenta las consideraciones de Russell *et al.* (1978), Sale (1980), De Martini y Roberts (1982), Sale y Sharp (1983), entre otros. Los censos visuales, apoyados con grabaciones submarinas, han tenido un sostenido éxito en las últimas décadas y sus objetivos son comparar las poblaciones de peces entre arrecifes y otros hábitats, y realizar estimaciones cuantitativas de la composición de la ictiofauna en el tiempo (Bohnsack y Banerot, 1986).

Los censos fueron realizados simultáneamente por una pareja de buceadores, uno de los cuales grababa el entorno inmediato al DAP en vídeo V8, con el objeto de poder abarcar un volumen de agua más amplio y obtener una mayor cobertura de los ejemplares. El censo de las comunidades sésiles de macroalgas (cuando estuvieron presentes) y macro-invertebrados fue realizado considerando su cobertura media, densidad y tamaño aproximado de los individuos (Herrera *et al.*, 1995)

Los censos de peces se efectuaron usando la técnica del punto fijo (método estacionario), mediante la cual los buceadores, situados en un punto fijo cercano a los DPAs, registran toda la información biológica posible (especie, número de ejemplares de cada especie y talla) dentro del campo visual, aproximadamente 100 m². El censo se realizó durante un intervalo de tiempo de 10 minutos. Cada buceador realizó un mínimo de dos réplicas de cada medida para disminuir el error de muestreo. Todas las anotaciones fueron realizadas con un lápiz de grafito sobre una tabla de PVC.

Este método de muestreo proporciona datos cuantitativos sobre la estructura de la comunidad de organismos agregados en torno a un DAP según los siguientes criterios: (i) todas las especies observables deben ser incluidas en cada censo; (ii) el método debe requerir el menor equipamiento y manipulación posible; (iii) el tiempo de observación debe ser utilizado lo más eficientemente posible en la recolección de datos; (iv) los datos deben generar estimaciones de la composición en especies, abundancia, frecuencia de ocurrencia y biomasa; (v) el método debe minimizar los

errores experimentales, de observación y comportamiento; y (vi) el muestreo debe incluir especies que frecuentemente evitan a los buceadores.

Durante las observaciones se determinó el número de ejemplares de cada especie que se encuentra dentro del volumen de observación del buceador. En el caso de las especies que constitúan cardúmenes, y debido a la dificultad de contar a todos los individuos, las estimaciones del tamaño de los cardúmenes se realizaron en unidades de 10, 20, 50, 100 o más de 100. Al tiempo que se contabilizó el número de individuos, se estimó la longitud total de los peces comparándolos con una regla unida a las tablas de anotación. Para ello, los buceadores colocan dicha herramienta, estirando el brazo, lo más lejos posible del ojo (1 m aproximadamente), con objeto de tener una mejor perspectiva en la medida. La estimación del error cometido con este método de muestro y los factores que afectan a las evaluaciones pueden encontrarse ampliamente descritos en el trabajo de Bohnsack y Bannerot (1986).

En cada una de las visitas a los DAP, dos buceadores tomaron datos biológicos sobre la biota asociada a los mismos. Antes de cada observación se registraban la hora de la misma, el estado del mar (dirección e intensidad del viento y de la corriente), la presencia de aves y/o embarcaciones de pesca o recreo en las proximidades, y el estado en que se encontraba el dispositivo (localización y posibles desperfectos). Igualmente, se realizaron censos visuales en mar abierto, lejos de la presencia de los DAPs, con objeto de establecer puntos de referencia que permitiesen establecer el valor agregatorio de los DAPs.

Durante la inmersión los observadores tomaban nota del número de especies ictiológicas presentes dentro de su campo visual, sus distribuciones de talla y comportamiento (profundidad de agregación, distancia al núcleo del flotador, reacción ante los observadores, etc.). Igualmente, se tomaban muestras de trozos de las redes colgantes del flotador con el objeto de identificar el poblamiento sésil (algas e invertebrados), así como el grado de colonización. Durante el período de observación se realizaron grabaciones, lo que permitió la posterior comprobación de los censos y analizar la forma en que los peces hacían uso de los DAPs, estudiando su

comportamiento y distribución espacial alrededor de los mismos. Igualmente, se tomaron fotos de las especies presentes.

El número de peces de cada especie fue posteriormente convertido a biomasa utilizando las ecuaciones talla-peso publicadas para cada una de las especies, o en su defecto, se utilizaron ecuaciones construidas con datos propios que permitía la conversión de la talla media a peso. Se consideró que la biomasa agregada medida como peso, era una medida más fiable que el grado de colonización y del potencial de sostén (en generación de alimento o de refugio) que tenía cada uno de los dispositivos para su fauna “residente”.

1.2.3.2.- Análisis estadístico

Se estudió la existencia de diferencias en la biomasa de peces agregada bajo los DAPs, en relación a la profundidad de la zona de fondeo. Para ello se realizó un análisis no paramétrico de la varianza (Kruskal-Wallis ANOVA) por estratos de profundidad (50-100, 120-160 y >300m).

Con el objetivo de medir similitudes en la distribución temporal de las especies censadas junto a los DAPs, se calcularon las distancias euclídeas entre cada pareja de especies. El análisis se realizó sobre una matriz que contenía los datos procedentes de los censos visuales alrededor de los DAPs. Las filas representaron las fechas de las visitas, mientras que las columnas eran las especies censadas. Se realizó un análisis de clústeres (Clifford y Stephenson, 1975) y de multiescalas (Field *et al.*, 1982; Davison, 1983; Cuaches, 1991) para caracterizar la fauna atraída por los DAPs. En el análisis de multiescalas cada especie fue representada en un espacio bidimensional, de tal manera que en este espacio las distancias entre puntos corresponden, en un grado alto, a las distancias originales entre especies. El grado de asociación ordinal entre dos puntos está dado por el coeficiente de monotonía (μ). El ajuste es mejor cuando μ es pequeño, o cuando el coeficiente de alineación (K) es próximo a cero,

siendo $K = (1 - \mu^2)^{\frac{1}{2}}$. La bondad del ajuste entre las configuraciones de distancias es también medida por el stress.

Las relaciones interespecíficas se examinaron utilizando la correlación de Spearman por rangos.

El análisis estadístico se llevó a cabo con ayuda del paquete estadístico Statistica versión 8 (StatSoft).

1.2.3.3.- Estudio de la comunidad zooplanctónica

Uno de los factores que se cree juega un papel importante para explicar la tendencia de algunas especies de peces a agregarse bajo objetos flotantes, es el alimento disponible (Gooding y Magnuson, 1967). Debido a que la mayoría de los individuos agregados bajo los DAPs eran juveniles, y especialmente zooplanctófagos, se consideró de interés analizar la evolución de la comunidad zooplanctónica en el entorno de los DAPs. Este análisis presentaba dos objetivos, por un lado el seguimiento estacional de esta comunidad, de manera que se pudiera relacionar con las variaciones en la abundancia de la comunidad de peces y, por otro, el determinar si los DAPs generan algún tipo de efecto concentrador en el plancton de la zona (por perturbaciones puntuales del régimen hidrodinámico de la zona debido a la presencia del DAP).

El estudio de la comunidad zooplanctónica en el área de Canarias ha sido abordado con anterioridad por diversos autores (Baker, 1970; Corral y Genicio, 1970; Foxton, 1970; Mingorance, 1983; Hernández y Lozano, 1984; Santamaría 1984; Fernández de Puellas, 1987; Hernández-León, 1988a, b; Fernández de Puellas y Braun, 1989; Santamaría *et al.*, 1989; García-Ramos *et al.*, 1990; Gómez, 1991; entre otros muchos).

Es importante destacar que, en relación a los datos obtenidos sobre la comunidad zooplanctónica, únicamente en esta tesis se hará una breve referencia a los resultados que han sido ya publicados por otros colaboradores en el proyecto matriz, ya que se consideró que formasen parte del material de otros proyectos de investigación.

Al igual que se hizo con la comunidad sésil e ictiológica, a partir del anclaje de los DAPs se procedió al seguimiento de la evolución de la comunidad zooplanctónica del área, realizando pescas verticales desde 30 m de profundidad hasta la superficie, con una red del tipo WP-2 simple (UNESCO, 1986), con una luz de malla de 100 μm . Se efectuaron dos pescas zooplanctónicas en las proximidades del DAP, procurando que estas fueran, dentro de lo posible, debajo del dispositivo y otras dos en un área suficientemente retirada de los mismos (a más de 100 metros en distancia lineal). De las dos pescas efectuadas en cada localidad, una fue orientada a la obtención de valores de la biomasa planctónica y la otra se utilizó para el estudio taxonómico de la comunidad.

Las muestras obtenidas fueron conservadas de diferente forma, según el objeto de las mismas. Las destinadas a la evaluación de la biomasa fueron congeladas en frascos perfectamente etiquetados, y posteriormente en el laboratorio las muestras fueron fraccionadas en cuatro clases de talla (100-200 μm , 200-500 μm , 500-1000 μm y >1000 μm). Por otro lado, las muestras destinadas a la clasificación taxonómica de los componentes de la comunidad fueron guardadas en un líquido fijador-preservador (formol al 4%) justo después de la obtención de la muestra.

1.2.3.4.- Estudio de la distribución en profundidad de la biomasa

El estudio de la distribución en profundidad de la biomasa (peces y plancton), así como las características del ritmo circadiano, se realizó a través de la información transmitida por un sistema de radio-boya sonda (Radio Sounder Buoy SVA-C900ES, Ryokusei) (Fig.1.5). Durante el mes de julio de 1995 se instaló la radioboya-sonda

junto a uno de los DAPs fondeado sobre la isobata de 100 m, con objeto de estudiar las variaciones en biomasa de la población de peces agregados. La radio boya estaba equipada con un transductor de 50 kHz y otro de 200 kHz, que transmite la información registrada (profundidad e intensidad de eco) al laboratorio a través de ondas de radio tipo A2B/H2B.

El equipo utilizado estaba compuesto, además de por la radio-boya, por un generador de señal modelo SVA-S900, una unidad de visualización modelo SVA-D900 y un receptor-transmisor de radio Kenwood TS-450S. La vida media de las baterías



Figura 1.5. Radio-boya sonda, modelo SVA-C900ES (Ryokuseisha, Japón).

que mantenían la actividad de la radio-baya estaba calculada en 5000 horas de utilización.

La radio-boya sonda fue instalada en el mar el día 8 de Julio de 1995 junto al DAP 3, frente al litoral de Arguineguín (sobre la isobata de 98 m), mientras que el equipo de recepción en tierra fue localizado inicialmente en la Facultad de Ciencias del Mar (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria), pero debido a problemas de recepción fue trasladado posteriormente a la Playa de Pozo Izquierdo, donde la recepción de la señal era aceptable.

La radio-boya podía ser activada desde la estación de seguimiento, seleccionando la frecuencia del transductor y la profundidad de resolución. Las frecuencias de muestreo del transductor fueron 50 kHz y 200 kHz. La primera frecuencia presenta un amplio rango de abertura (aproximadamente 44°) lo cual permitió determinar el volumen relativo de los bancos de peces presentes bajo el DAP. Esta frecuencia permite una mayor penetración en la columna de agua pero da una menor resolución. Por otro lado, la frecuencia de 200 kHz presenta un haz de limitado ángulo direccional (aproximadamente 11°) pero de mayor resolución. El problema de esta última frecuencia es que la información recibida puede estar fácilmente influenciada por el movimiento de balanceo de la boya en el mar.

Una vez que la radio-boya es activada desde la estación de seguimiento, esta transmite en onda media (AM) la información recogida (intensidad de eco y profundidad), la cual aparece en la pantalla de la unidad de visualización instalada en el centro de seguimiento. En esta, la información aparece representada en forma de diagrama de barras horizontales a distintas profundidades. El ancho de la barra viene determinado por la intensidad del eco recibido por la sonda.

De igual forma que se puede seleccionar la frecuencia del transductor, se puede seleccionar también la ganancia y el rango de profundidad de la columna de agua bajo la radio-boya de donde se recogerá la información sobre la presencia de

peces. Esta radio-boya únicamente puede trabajar en dos rangos de profundidad, 64 m o 128 m.

El seguimiento con la radio-boya, una vez reubicada la estación de recepción en Pozo Izquierdo, abarcó desde el 11 de julio al 2 de agosto de 1995. Posteriormente a esta última fecha se perdió el contacto con la radio-boya.

1.2.3.5.- Parámetros oceanográficos

Simultáneamente a las observaciones realizadas durante 1996-1997, se registraron con una sonda multiparamétrica algunos parámetros físico-químico del entorno inmediato a los DAPs. Se realizaron perfiles desde la superficie hasta los 30 m de profundidad de la salinidad, temperatura, pH, concentración de oxígeno y turbidez. Estos parámetros no pudieron ser obtenidos durante todas las visitas a los DAPs debido a problemas surgidos con la sonda.

1.2.3.6.- Seguimiento de las capturas

Con el objeto de obtener estimaciones de la abundancia de las especies con interés comercial, especialmente túnidos y dorados, y del rendimiento pesquero de los DAPs, se realizó un seguimiento simultáneo de las capturas realizadas junto a los mismos por parte de la flota artesanal con base en los puertos pesqueros próximos. Este seguimiento se realizó especialmente durante el período comprendido entre junio y octubre, período durante el cual la flota artesanal se dedica a la pesca de túnidos (conocida como zafra). Esta flota está compuesta principalmente por embarcaciones de pesca de 11 a 16 metros de eslora (Hernández-García *et al.*, 1998; Couce-Montero, 2015). Los métodos de pesca utilizados junto a los DAPs fueron el curricán o el de cebo vivo para la pesca de túnidos (Bas *et al.*, 1995).

Para obtener una estimación de las capturas realizadas por la flota junto a los DAPs, se repartió entre los pescadores de las cofradías de Arguineguín y Mogán una serie de estadillos con la finalidad de que los pescadores apuntasen en ellos las capturas realizadas. Estos estadillos, uno por cada mes del año, presentaban una cuadrícula en los que se solicitaba la captura por día (la cuadrícula presentaba 31 filas, una por día del mes) y la posición del DAP donde habían sido capturados (se preguntaba la referencia de tierra más próxima, por ejemplo frente a la punta de Maspalomas, lo cual permitía identificar el DAP). Igualmente, con una periodicidad de una a tres veces por semana, se visitó los puertos mencionados con anterioridad y se realizó encuestas a los pescadores del lugar. El objetivo fue contrastar, una vez recuperados los estadillos, la información obtenida. La estrategia seguida en las encuestas fue preguntar a los pescadores, de forma que varios pescadores proporcionaban cifras de capturas obtenidas por un único pescador en los días anteriores. De este modo se aproximaba al valor real, seleccionando aquel que presentaba una mayor coincidencia entre dos o más encuestados.

Por desgracia, las encuestas fueron el único modo de estimar las capturas realizadas junto a los DAPs, ya que no se recuperó ninguno de los estadillos previamente entregados debido a que los pescadores de ambos puertos no mostraron interés en su cumplimentación.

1.3.- Resultados

1.3.1.- Colonización biológica de los DAPs

Los primeros colonizadores de los Dispositivos de Agregación de peces fueron las aves marinas, especialmente las gaviotas (*Larus argentea*) que utilizan las balsas como puntos de reposo. El número máximo de aves avistadas sobre una misma balsa ha sido de seis, de pequeña envergadura (posiblemente ejemplares de pardela chica).

Por otro lado, diez días después del fondeo existían ya peces agregados entorno a la parte sumergida de los DAPs, especialmente juveniles de chopa perezosa (*Kyphosus sectator*), chicharro (*Trachurus picturatus*) y pámpano (*Schedophilus ovalis*).

La presencia de una potera con señuelo sintético, trabada en uno de los DAPs, demostraba que la actividad pesquera, en este caso deportiva, junto a los dispositivos se comenzó a realizar desde los primeros días siguientes a la instalación.

Transcurridos quince días desde la instalación de los DAPs, ya se apreciaban inicios de colonización de la parte sumergida de los dispositivos por parte de invertebrados marinos. Los primeros invertebrados en iniciar la colonización fueron los hidozoos y el cirrípedo *Lepas anatifera*. Sin embargo, el punto de arranque de la colonización fue variable, mientras que los cirrípedos se fijaron inicialmente al cabo de fondeo, boya de situación o al propio flotador, los hidozoos se fijaron principalmente sobre las redes colgantes del flotador. Posteriormente, la colonización por parte de los cirrípedos se prolongó a distintos puntos de los trozos de redes colgantes, especialmente los extremos inferiores.

Los cirrípedos llegaron a presentar grandes densidades de individuos que tapizaban por completo algunas regiones de los DAPs, especialmente parte de las redes y de la cuerda de fondeo y boya de situación (Fig.1.6). En algunos momentos la población fijada sobre la cuerda alcanzaba grosores próximos a los 15 cm de diámetro. De igual forma, tapizaban completamente las boyas de fondeo.

Un mes después del fondeo ya se apreciaban la presencia de pequeñas algas pardas tapizando las cuerdas y la maya de sujeción de las balsas. Tras dos meses de fondeo se constató la presencia en cantidades importantes de anfípodos (*Caprella acutifrons*). En algunas ocasiones, después de realizar los censos visuales bajo los

DAPs, los cuerpos de los observadores aparecían llenos de estos anfípodos adheridos a la piel y ropas.

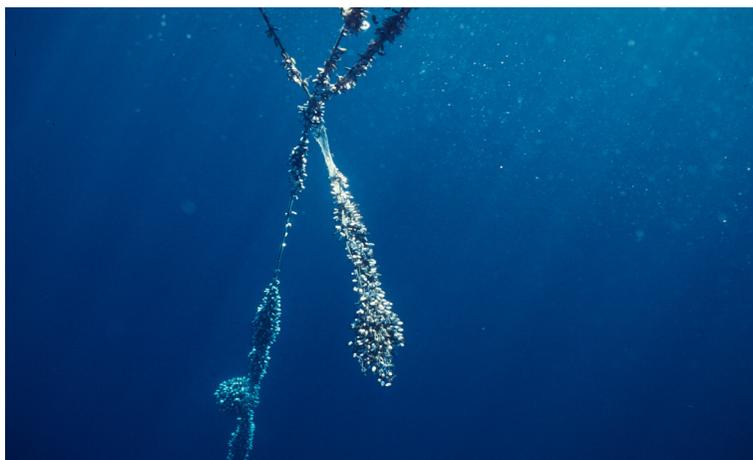


Figura 1.6. Agregaciones del cirrípedo *Lepas anatifera* colonizando tanto la cuerda de fondeo como los trozos de paño de red que constituye la cola del DAP.

1.3.1.1.- Invertebrados y algas

La comunidad adherida a los DAPs estuvo compuesta por algas e invertebrados, especialmente cirrípedos e hidrozooos. El invertebrado más abundante fue *Lepas anatifera* Linnaeus 1758, que comenzó la colonización de los DAPs dos semanas después de la fecha de fondeo, completándola después de cuatro meses (colonizando la balsa, las redes, la boya y la cuerda de fondeo) (Fig. 1.6). Entre las redes colgantes (la cola) del DAP, colonizadas principalmente por hidrozooos y algas, fue frecuente observar anfípodos como *Caprella acutifrons* (Latreille) y al cangrejo *Planes minutus* (Linnaeus). Este cangrejo se localiza frecuentemente viviendo sobre

masas de sargazos a la deriva, objetos flotantes o sobre tortugas (Davenport, 1992; Frick *et al.*, 2004).

La especie algal más abundante fue la Phaeophyta, *Hiucksia mitchelliae* (Harvey) P.C. Silva, 1987. Igualmente, fueron identificadas las Rhodophytas, *Polysiphonia myriococa* (Montagne) y, epífita sobre esta última, *Audouinella microscópica* (Nägeli in Kützing) Woelkerling 1971 (las algas fueron clasificadas por la Dra. Ascensión Viera Rodríguez). En algunas de las balsas, durante 1995, se localizaron temporalmente algunos plantones de *Sargasum vulgare*, aunque su presencia fue efímera.

1.3.1.2.- Comunidad zooplanctónica.

La distribución de la biomasa zooplanctónica no mostró ningún patrón en relación a la profundidad sobre la que se hallaban situados los DAPs, aunque se observó una ligera tendencia, no significativa, de aumento de la biomasa con la distancia de la costa.

Sin embargo, en los DAPs situados sobre la isobata de 100 m durante 1995, existió una acumulación de zooplancton superior a los valores normalmente registrados durante el resto del seguimiento. Por otro lado, la biomasa zooplanctónica fue superior, aunque no significativamente (ANOVA, $P=0,1$), bajo los DAPs que lejos de los mismos.

La clase de talla de 200-500 μm mostró la máxima representación de biomasa tanto bajo los DAPs como lejos de los mismos, seguida de la fracción de 500-1000 μm en ambas localizaciones. Las clases de talla de 100-200 μm y $>1000 \mu\text{m}$ presentaron una menor biomasa en ambos casos. En cuanto a la distribución por grupos observamos que la mayor abundancia la presentaron el grupo de los copépodos y apendiculáridos.

1.3.1.3.- Especies de peces

Durante el seguimiento se ha observado que una de las características principales de los dispositivos de agregación es que concentran especialmente individuos juveniles de unas pocas especies. Sin embargo, el tipo de seguimiento realizado sólo ha proporcionado una información muy parcial sobre la población de peces que utiliza los DAPs como puntos de concentración. Las visitas a los DAPs se han realizado durante horas de la mañana, entre las 10 y 15 horas, lo cual limita el período de observación a aquellas especies que se agreguen durante los momentos de máxima radiación solar. Aquellas especies que se agreguen o asocien especialmente durante el amanecer o el crepúsculo, o durante horas nocturnas, no han podido ser censadas con este tipo de seguimiento. Por otro lado, el ruido de los motores de las embarcaciones puede ocasionar que determinadas especies se alejen temporalmente de los DAPs, con lo cual son difícilmente censables.

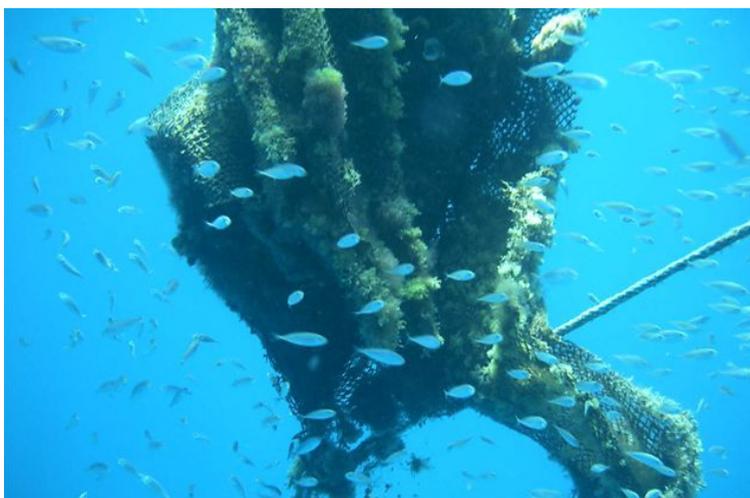


Figura 1.7. Juveniles de *Trachurus* sp. agregados junto a parte de la estructura sumergida de un DAP anclada.

Los censos visuales solo se pueden considerar fiables para aquellas especies que se agregan bajo el Dispositivo y en la zona más superficial del mismo. Sin embargo, hay otras especies que no muestran un comportamiento agregatorio fácil de seguir. Los túnidos, aunque se concentran en la superficie, no lo hacen directamente bajo el DAP, sino en su zona de influencia.

Un total de 15 especies pertenecientes a 9 familias diferentes se han encontrado asociadas en mayor o menor grado a los DAPs, de las cuales sólo 8 son objeto de explotación en el entorno de las Islas Canarias. *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus alalunga* son las especies de mayor valor comercial, seguidas de *Coryphaena hippurus* y *C. equiselis*, *Seriola* spp. y *Pseudocaranx dentex*. La familia censada más frecuente fue Carangidae, con ocho especies (hay que tener en cuenta que en aguas de Canarias, los géneros *Seriola* y *Trachurus* presentan tres especies cada uno) (Fig 1.7).

De las especies *Coryphaena* spp. y *Balistes carolinensis* solo fueron censados individuos adultos, mientras que *Seriola* spp., *Pseudocaranx dentex*, *Kyphosus sectator*, *Boops boops* y *Sphyræna viridensis* únicamente estuvieron presentes en formas juveniles. *Naucrates ductor*, *Trachurus* spp. y *Schedophilus ovalis* presentaron tanto individuos juveniles como subadultos.

Otras especies como *Katsuwonus pelamis*, *Thunnus alalunga* y *Prionace glauca* fueron solo observadas en la proximidades de los DAPs, pero nunca debajo de los mismos.

Naucrates ductor, *Seriola* spp. y *Pseudocaranx dentex* estuvieron presentes en un alto porcentaje de las observaciones (entre el 30 y 80% de las mismas). *Trachurus* spp., *Balistes capricus*, *Coryphaena hippurus* y *C. equiselis* fueron observadas con una frecuencia en torno al 20%. Otras especies como *Boops boops* y *Sphyræna viridensis* fueron censadas muy raras veces bajo los DAPs (menos de un 5%). *Scomber colias* ha sido censada dos veces y solo a través de pescas comerciales nocturnas con luz.

Las grabaciones determinaron, durante 4 meses, una pareja de juveniles de *Kyphosus sectator* bajo un mismo DAP. Igualmente ocurrió con dos subadultos de *Schendophilus ovalis*, que permanecieron dos meses residiendo bajo una misma balsa.

Especies como *Prionace glauca*, *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus alalunga* no se han observado nunca bajo los DAPs, sino a cierta distancia de los mismos (aproximadamente 100 m alrededor de los DAPs).

1.3.1.4.- Cetáceos

Un grupo de unos 10 ejemplares adultos de delfines comunes (*Delphinus delphis*) fue avistado en el entorno de uno de los DAPs.

1.3.2.- Distribución de tallas de las especies de peces agregadas

La distribución de tallas de los individuos de cada una de las especies agregadas bajo los DAPs dependió principalmente del período del año en el que se realizaron las observaciones.

Familia Carangidae:

Trachurus spp. fue la especie que presentó un mayor número de individuos, mostrando una variación en talla que osciló entre 1,7 y 35 cm de longitud total. El mayor de los individuos observado (*Trachurus picturatus* de 35 cm) fue obtenido en mayo al quedar este atrapado entre los trozos de redes, posiblemente como consecuencia de que intentara refugiarse entre las mismas al ser atacado por algún predador o al intentar alimentarse de otro pez. Este ejemplar no se encontraba enmallado, solo introducido en una especie de bolsas creadas por la propia malla. Esta

especie estuvo presente en todas las observaciones excepto en aquellas realizadas en julio y agosto de 1995 y desde noviembre de 1996 hasta abril de 1997.

Las tallas más frecuentes oscilaron entre los 10-15 cm de longitud total, estando bien representados los individuos de 5-10 cm y 15-20 cm. Los individuos de menor talla se observaron en los meses de abril y mayo, aunque individuos de 5-10 cm fueron observados tanto en primavera como verano y otoño. Los individuos de mayor talla (15-20 cm) se observaron principalmente en el mes de octubre. Esto contradice lo descrito por Smith-Vaniz (1986), quien asigna al verano el período de reproducción de las especies de la familia Carangidae. Tal y como se desprende por la distribución de tallas las especies del género *Trachurus*, y particularmente *Trachurus picturatus*, debe presentar su período reproductivo a finales del invierno y principios de la primavera.

Seriola spp. representa a un grupo de especies (cuatro descritas para Canarias) que no presentaron nunca un gran número de individuos (el mayor número de individuos observados bajo un mismo DAP fue de 30), aunque la asociación de los

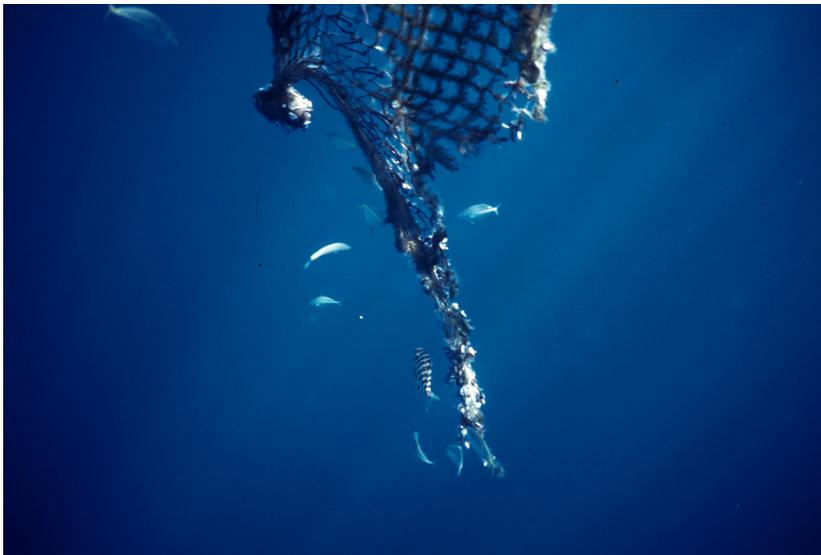


Figura 1.8. Juvenil de *Seriola* sp. (en la parte inferior de la imagen) agregado a la cola del DAP, junto a ejemplares de *Pseudocaranx dentex*.

juveniles de estas especies con los DAPs fue muy frecuente. Los individuos de esta especie fueron observados junto a los DAPs a lo largo de todo el año, excepto durante los meses de abril y mayo. El rango de tallas observado osciló entre 1 y 30 cm de longitud total, siendo el rango de talla más frecuentemente observado de 5 a 15 cm. Los individuos de mayor talla se observaron en septiembre, enero y febrero, mientras que los individuos de menor talla fueron censados en junio y septiembre, aunque desde junio a diciembre se observaron individuos de 5-10 cm de longitud total. El período reproductivo de estas especies se debe prolongar desde la primavera hasta bien entrado el otoño (Fig 1.8).

Naucrates ductor se observó durante todo el año excepto durante los meses de enero a abril, siendo más abundante durante el verano. El rango de tallas observado bajo los DAPs osciló entre los 4 y 32 cm de longitud total. El mayor de los individuos observados fue una hembra obtenida en mayo que había quedado atrapada entre los trozos de redes, posiblemente como consecuencia de que intentara refugiarse entre las mismas al ser atacado por algún predador o al intentar alimentarse de otro pez. Este ejemplar no se encontraba enmallado, sólo introducido en una especie de bolsas creadas por la propia malla. Los individuos de menor talla fueron observados en junio y septiembre, mientras que los de mayor tamaño (25-30 cm) se observaron en mayo y septiembre. El rango de talla más frecuentemente observado osciló entre 5 y 20 cm. De la distribución de tallas se desprende que el período de freza debe de ser muy prolongado en el tiempo, desde la primavera, ya que se observaron individuos de 5-10 cm desde mayo hasta finales del verano y principios del otoño (septiembre) (Fig. 1.9).

Familia Kyphosidae:

Durante los censos visuales realizados nunca se observó una gran concentración de ejemplares de *Kyphosus sectator* agregados bajo los DAPs, siendo 55 el mayor número de individuos juveniles censado bajo un único DAP. Esta especie estuvo presente bajo los DAPs a lo largo de todo el año excepto en el mes de noviembre. El rango de tallas observado para esta especie osciló entre 2 y 20 cm de



Figura 1.9. Grupo de peces piloto (*Naucrates ductor*) agregados bajo un DAP.

longitud total, siendo el rango de tallas más frecuente de 5 y 15 cm. Los individuos de menor talla fueron registrados en junio y diciembre, mientras que los mayores se censaron en los meses de febrero y octubre. Los individuos de pequeño tamaño (menores de 10 cm se presentaban formando pequeños bancos), mientras que los de talla superior a los 15 cm solían observarse en pareja. Esta especie parece tener dos períodos reproductivos, uno más intenso en invierno-primavera y otro de menor intensidad en otoño.

Familia Coryphaenidae:

La familia Coryphaenidae está representada por dos especies, *Coryphaena hippurus* y *C. equiselis*, ambas de aspectos muy similares y sólo identificables genéticamente y por algunos rasgos merísticos difícilmente apreciables durante los censos visuales. *C. hippurus* puede alcanzar tallas próximas a los dos metros, aunque lo más común es que no sobrepasen los 120 cm de longitud total. Sin embargo, *C.*

equiselis alcanza una talla máxima mucho menor, siendo la talla más frecuente no superior a los 50 cm de longitud total. Este criterio de diferencias en la talla máxima nos ha permitido distinguir en algunas ocasiones (cuando los individuos superaban los 50 cm de longitud) a ambas especies.

Coryphaena hippurus se observó únicamente durante los meses de junio y agosto, con tallas que oscilaron entre los 80 cm y el metro de longitud. Por otro lado, individuos de tallas próximas a los 50 cm se observaron en julio, agosto, septiembre y noviembre. En julio se capturó un ejemplar de 40 cm perteneciente a la especie *C. equiselis*.

En el mes de noviembre se pudo observar el comportamiento de freza en un pequeño grupo de 3 individuos (1 macho y 2 hembras) de *Coryphaena hippurus*, cuyas tallas rondaban los 70 cm. En esta ocasión los tres peces realizaban movimientos de giro en torno a las cuerdas de anclaje del DAP, con subidas repentinas sincronizadas hacia aguas más superficiales, al tiempo que liberaban los productos sexuales.

Familia Centrolophidae:

Individuos de *Schedophilus ovalis* fueron observados prácticamente todo el año, excepto durante los meses de julio y noviembre, aunque nunca en grandes cantidades (el mayor grupo estuvo compuesto por 8 individuos y lo más frecuente eran parejas de subadultos). El rango de tallas de los ejemplares censados osciló entre 7 y 50 cm de longitud total. Los ejemplares de menor talla se observaron en abril y mayo, mientras que los individuos de mayor talla se observaron en octubre y noviembre. El rango de tallas más frecuente observado fue de 15 a 20 cm. Los individuos de menor talla se presentaban siempre solitarios y eran generalmente los primeros colonizadores de los DAPs, mientras que los subadultos se presentaban en parejas que permanecían varios meses bajo el mismo dispositivo.

Familia Balistidae:

Balistes capriscus fue una de las especies menos frecuentes de las observadas bajo los DAPs, observándose únicamente en julio, agosto, octubre y noviembre. Los ejemplares fueron siempre de gran talla, entre 25 y 30 cm de longitud total y siempre solitarios.

Aunque los ejemplares de *Balistes capriscus* observados durante el estudio fuesen siempre en solitario, existe constancia de una captura (próximas a la tonelada) de individuos de esta especie que se encontraban agregados bajo el tronco de un árbol flotando a la deriva en aguas de la Isla de El Hierro.

Familia Sparidae:

De esta familia sólo se observaron una única vez, en el mes de julio, unos pocos ejemplares de *Boops boops* de 5 a 10 cm de longitud total.

Familia Sphyraenidae:

Dos juveniles de *Sphyraena viridensis* se observaron, una única vez en el mes de mayo de 1995. Los mismos presentaban una talla próxima a los 10 cm de longitud total.

1.3.3.- Distribución en profundidad de la biomasa

La información recogida por la radio-boya sonda fue en un principio confusa y de difícil explicación, ya que según el transductor utilizado variaba sustancialmente la información recibida. La información recogida con el transductor de 50 KHz daba, casi de forma general, la existencia de una única zona superficial que producía ecos. Esta zona con presencia de organismos se correspondía con un nivel que variaba desde la superficie hasta los 5 metros de profundidad, es decir, justo bajo la balsa. La magnitud del eco registrado posiblemente correspondía a los juveniles de peces censados

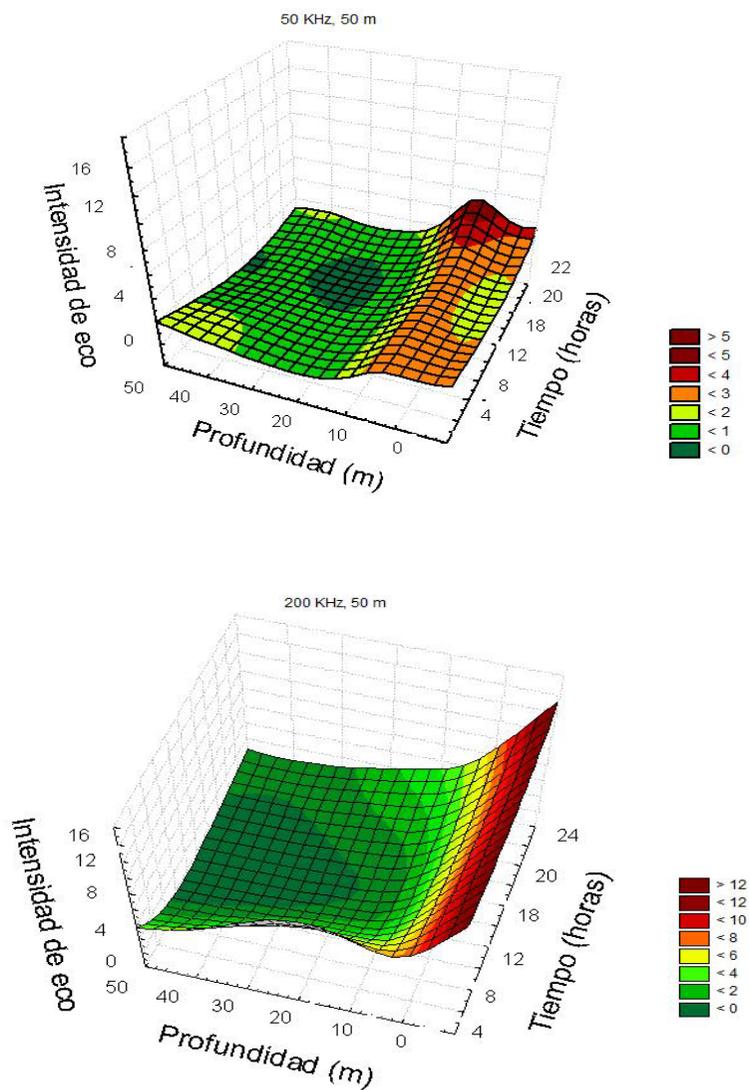


Figura 1.10. Diagrama de la distribución de ecos correspondientes a peces agregados bajo los DAPs, entre 0 y 50 m de profundidad, obtenidos con un transductor de 50 MHz (superior) y 200 MHz (inferior) acoplados a una radioboya sonda.

durante los muestreos, y muy probablemente estaba magnificada por el oleaje (burbujas) y la presencia de las redes colgantes del flotador cuya estructura participaba en el eco total del registrado.

Los ecogramas obtenidos con el transductor de 200 KHz muestran una concentración constante de organismos bajo los DAPs que disminuye rápidamente con la profundidad (los peces se concentran fundamentalmente en los 2 primeros metros de profundidad bajo la balsa, y a partir de 10 m no se perciben ecos). No obstante, el transductor de 50 KHz muestra ligeras diferencias en el comportamiento de los peces a lo largo del día, de modo que la biomasa agregada bajo el objeto disminuye en las horas de mayor luminosidad (entre las 10 y las 18 horas) para aumentar nuevamente al aproximarse la noche (entre las 19 y 22 horas) (Fig. 1.10).

Sin embargo, este incremento de la intensidad de los ecos nocturnos puede también asociarse a una mayor concentración superficial de organismos del macrozooplancton, con una distribución mucho más superficial.

Ante la presencia de los buceadores, durante los censos visuales que se realizaron fundamentalmente en las capas superficiales y que alcanzaban un rango de visibilidad que fácilmente superaba los 30 metros, los peces se concentraban en los niveles superficiales, justo bajo las balsas.

Generalmente, muchos de los peces, especialmente los juveniles de *Trachurus* sp. se agregaban junto a la cuerda del fondeo, entre 5 y 10 metros bajo el flotador, huyendo hacia niveles más profundos cuando los observadores intentaban aproximarse a los mismos, regresando posteriormente tras unos pocos minutos.

1.3.4.- Variaciones en la biomasa de peces agregados

Se observó una diferencia significativa en la biomasa de peces agregados bajo los DAPs con los meses del año (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=18,98$; $N=53$; $P=0,04$), con máximos de biomasa agregada en septiembre (estos máximos estuvieron generalmente asociados a la presencia de bancos de dorados) (Fig. 1.11). No obstante, ni el número de especies agregadas bajo los DAPs aumentó con la edad de los dispositivos (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=10,03$; $N=29$; $P=0,07$), ni la biomasa de peces mostró un incremento a medida que los DAPs pasaban tiempo en el mar (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=2,56$; $N=29$; $P=0,77$) (Fig 1.12).

El máximo número de especies censadas bajo un DAP fue de 5, siendo el número más frecuente ($\bar{X} = 2,72$; $SD=1,31$). Sin embargo, se observó una diferencia significativa (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=13,62$; $N=53$; $P=0,008$; Fig. 1.13) en el número de especies agregadas en función de la profundidad sobre la que se fondearon los DAPs. Generalmente, los DAPs fondeados más próximos a la costa (50-100 m de profundidad) presentaron un menor número de especies agregadas.

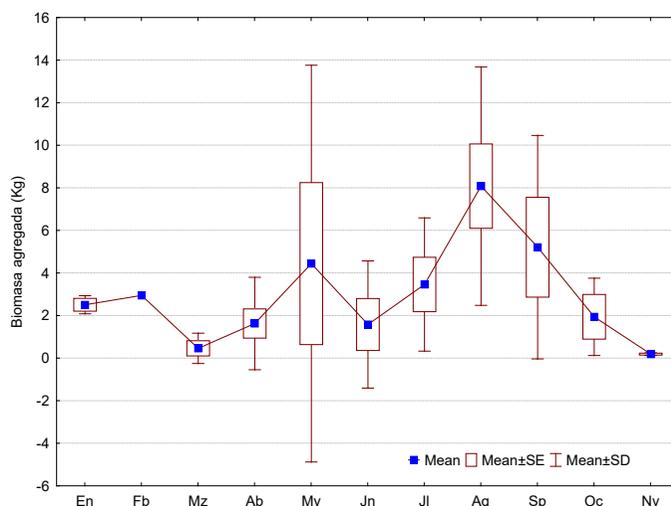


Figura 1.11. Biomasa media de peces agregados mensualmente bajo los DAPs entre abril de 1995 y Mayo de 1997.

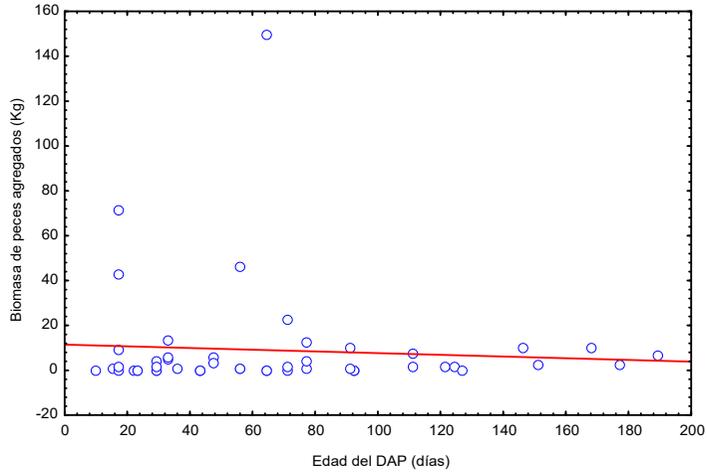


Figura 1.12. Variación de la biomasa agregada (en Kg) con la edad del DAP (en días) (Biomasa agregada (Kg)=11,46-0,0378(días); $r=-0,072$; $P=0,61$).

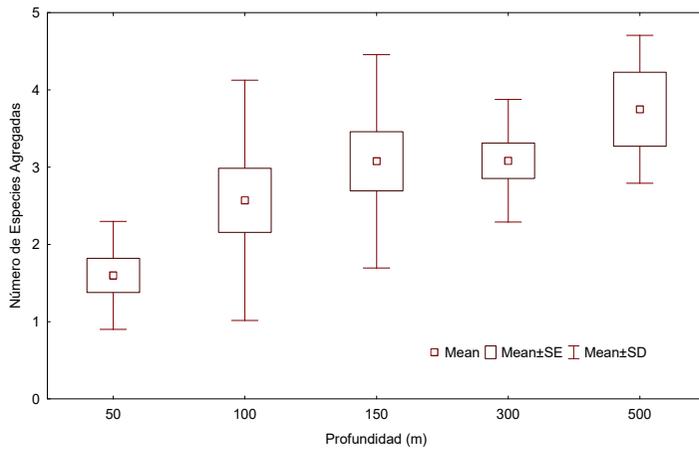


Figura 1.13. Número de especies de peces agregadas bajo los DAPs en función de la profundidad de fondeo de los mismos.

La biomasa media agregada fue de 8,93 kg (SD = 23,6), mientras que la biomasa máxima censada fue de 150 kg, originada por la presencia de un cardumen de *Coryphaena hippurus*. Sin embargo, cuando solo se tuvieron en consideración los juveniles “residentes” de varias especies que podrían servir de cebo para otros peces predadores (lo que los pescadores conocen como “majua” o baitfishes en inglés), la biomasa media agregada fue de solo 3,38 kg (SD = 4,84), mostrando un máximo de 23,37 kg debida a la presencia de un cardumen de juveniles de *Trachurus picturatus*. Los DAPs más próximos a la costa (50 m de profundidad) presentaron una biomasa agregada significativamente menor que los que fueron fondeados a mayor distancia (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=6,75$; $N=53$; $P=0,03$) (Fig. 1.14).

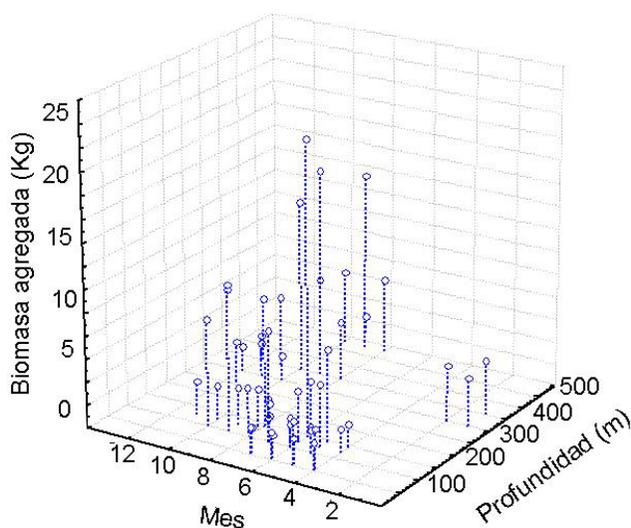


Figura 1.14. Diagrama donde se representa la variación de la biomasa de peces agregada bajo los DAPs en función de la profundidad de anclaje del DAP y del mes del año.

El análisis de clústeres agrupó el conjunto de especies censadas bajo los DAPs (exceptuando los túnidos), en función de las distancias euclídeas, en dos grupos. El grupo 1 incluye exclusivamente a *Coryphaena* spp., mientras que el segundo grupo engloba al resto de especies censadas (Fig.1.15). Además, en el segundo grupo se puede observar como la mayoría de las especies de carángidos se unen al resto a una mayor distancia. Según este análisis, se puede concluir que el grupo de los Coryphaenidos actúa como especies asociadas a los DAPs, con una presencia en torno a los mismos relativamente pequeña y poco regular en el tiempo, mientras que el segundo grupo estaría constituido por las especies agregadas o residentes.

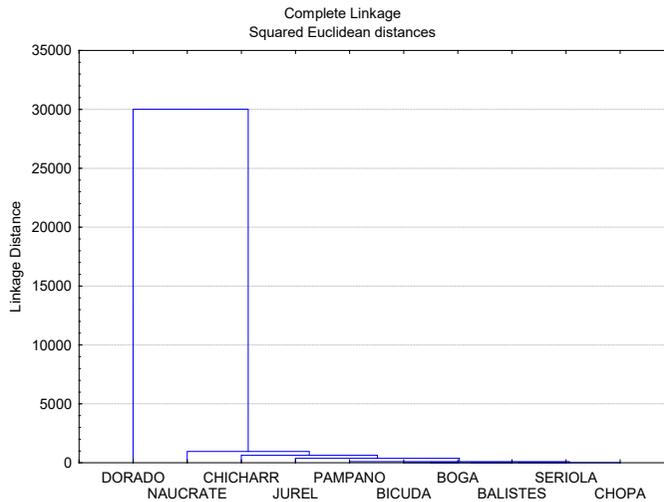


Figura 1.15. Dendrograma donde se visualizan las distancias Euclídeas existentes entre los datos de los censos visuales de especies agregadas entorno a los DAPs anclados al sur de Gran Canaria.

Dentro de este último grupo, existe una ligera segregación espacial en las distancias euclídeas, posiblemente debido a los tiempos de residencia, entre los juveniles de carángidos y el resto, posiblemente motivado por su fuerte dependencia de la estación del mes (la mayoría de estas especies se reproducen a principios de verano - Smith-Vaniz, 1986- y, por tanto, el reclutamiento de alevines y juveniles podría tener lugar a partir del otoño.

Los coeficientes de correlación entre parejas de especies son muy bajos, pero algunos de ellos resultan significativos. Este es el caso de *Seriola* spp. con *Naucrates ductor* ($r=0,41$; $P=0,007$), *Pseudocaranx dentex* ($r=0,55$; $P=0,0001$) y *Trachurus* spp. ($r=-0,34$; $P=0,03$), entre *N. ductor* y *Kyphosus sectator* ($r=-0,51$, $P=0,0005$) y entre *Balistes capriscus* y *P. dentex* ($r=0,36$; $P=0,02$). Esto último se relaciona adecuadamente con el comportamiento agregatorio de los juveniles de *P. dentex*, los cuales se asocian a ejemplares grandes de *B. capriscus*, nadando junto a ellos mientras estos se localizaban próximos a los DAPs, pero también a los buceadores mientras estos permanecen cerca de los dispositivos.

1.3.5.- Comportamiento de las especies

Las especies de peces censadas se distribuyeron espacialmente alrededor de los DAPs, dependiendo del tamaño de los individuos. Los cardúmenes de juveniles de *Pseudocaranx dentex* y *Trachurus* spp., dependiendo de la talla de los individuos, se agregan tanto bajo el DAP como junto a la cuerda del fondeo, a distintos niveles de profundidad (llegan a formar cardúmenes mixtos). Los individuos más pequeños (menores de 5 cm) se mantienen en aguas más superficiales, agregados muy próximos a la estructura sumergida del objeto flotante.

Los juveniles de *Pseudocaranx dentex* se agregan incluso a otros peces como *Balistes capriscus*, mientras estos están próximos a los DAPs. Estos mismos juveniles, cuando alcanzaban tallas comprendidas entre los 15 y 20 cm, se alejaban del DAP

hasta una distancia aproximada a los 20 m, agregándose bajo cualquier objeto que pase próximo, incluso buceadores, regresando nuevamente al DAP cuando se ha superado esta distancia. Suelen realizar desplazamientos verticales, siguiendo la cuerda de fondeo, más allá del campo de visión de los buceadores (más de 20 metros).

Los juveniles de *Seriola* spp. son solitarios o forman grupos laxos de 2 a 5 individuos. Cuando presentan tallas inferiores a los 10 cm, no se alejan de la protección de la estructura sumergida del flotador. Por otro lado, los juveniles de *Kyphosus sectator* se protegen entre las redes de la cola del DAP cuando tienen una talla inferior a los 15 cm, alejándose, hasta aproximadamente los 20 m del mismo, cuando superan esta talla. Sin embargo, tanto los juveniles (5-10 cm) como los subadultos (30-50 cm) de *Schedophilus ovalis* permanecen muy próximos a la estructura flotante del DAP.



Figura 1.16. Juvenil de pámpano (*Schedophilus ovalis*) entre las redes que conforman la cola del DAP. Obsérvese su coloración corporal y como esta describe bandas oscura y claras incrementando el contraste (coloración disruptiva).

Ha resultado curioso comprobar que los juveniles de muchas de estas especies presentan una coloración mimética muy característica. Así, por ejemplo, los juveniles de *Seriola* spp. y de *Schedophilus ovalis* (Fig 1.16) presentan una serie de bandas verticales de color oscuro, casi negro, sobre un fondo amarilloso más claro que imita la coloración que adquieren las masas de algas flotantes (sargazos), donde estos juveniles suelen agregarse buscando protección y alimento. Igualmente ocurre con los juveniles de *Kyphosus sectator* (Fig 1.17), que presentan una coloración característica, gran cantidad de puntos blancos a modo de lunares sobre un fondo oscuro, casi negro.

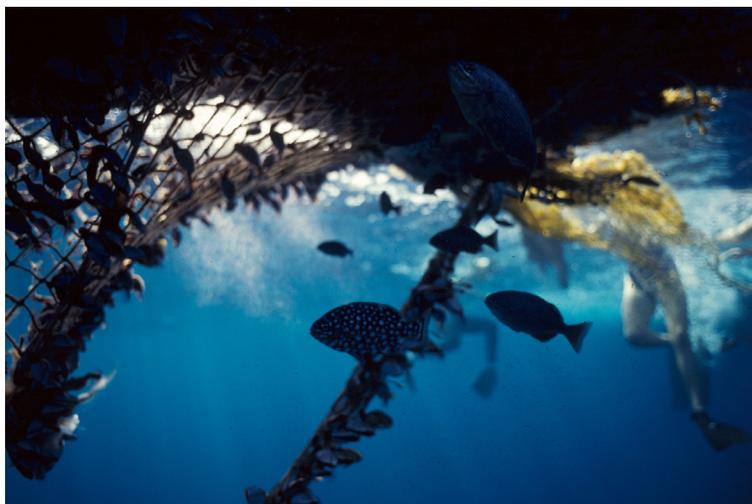


Figura 1.17. Juveniles de chopera perezosa (*Kyphosus sectator*) agregados bajo el flotador del DAP. Estos presentan una coloración corporal disruptiva caracterizada por la presencia de puntos blancos sobre un fondo oscuro, simulando el paso de la luz entre las algas flotantes (obsérvese el mismo patrón de color en los trozos de redes del fondo).

En un principio parece una coloración poco mimética, pero imita perfectamente la visión de las densas masas de algas a la deriva observadas desde abajo. Una masa oscura a través de la cual penetra luz por pequeñas rendijas. Los juveniles y adultos de

Naucrates ductor también presentan una coloración de bandas verticales negras sobre un fondo claro plateado.

Los individuos de las dos especies de género *Coryphaena* presentan un comportamiento diferente al del resto de las especies. Estas se mantienen dando vueltas a gran distancia (más de 20 m) en los alrededores del DAP, acercándose y alejándose del mismo. Son especies muy curiosas, aproximándose a muy corta distancia (menos de 50 cm) a los observadores durante unos pocos minutos.

Teniendo en cuenta el tiempo de permanencia (residencia) en las proximidades de los DAPs, hemos clasificado la fauna ictiológica en dos grandes grupos, especies residentes (aquellas cuya presencia junto a los DAPs fue prolongada en el tiempo), y especies visitantes (aquellas que se encontraron junto a los mismos de forma esporádica): (i) Las especies residentes se establecieron por dos criterios, debido a que estaban presentes en un alto porcentaje de las observaciones (alrededor del 50-60% de las mismas), o porque unos mismos individuos permanecieron durante varios meses bajo un único DAP. Los juveniles de *Schedophilus ovalis* que presentan formas juveniles y subadultos, pertenecerían a este último grupo. (ii) Las especies visitantes son aquellas observadas en torno a los DAPs con cierta regularidad, aunque muy inferior a la de las especies residentes (menos de un 10% de las observaciones). *Coryphaena hippurus* y *C. equiselis* (11% de las observaciones) han sido clasificadas dentro de este grupo

Otros especies visitantes son *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus alalunga*, aunque no se las ha observado nunca directamente bajo los DAPs, sino a cierta distancia de los mismos (entre 20 y 100 metros alrededor de los DAPs), y nunca por períodos de tiempo muy prolongados.

1.3.6.- Análisis de contenidos estomacales

Determinados ejemplares de diferentes especies han quedado atrapados entre los trozos de redes que conforman la cola de los dispositivos flotantes, posiblemente como consecuencia de que intentan refugiarse entre las mismas al ser atacados por sus predadores y con sus movimientos quedan cubiertos por las mismas. En ninguno de los casos estos ejemplares se encontraban enmallados, solo introducidos en especies de bolsas creados por la propia red. Entre estos se han encontrado un ejemplar adulto de *Naucrates ductor*, un juvenil de *Seriola carpenteri* y varios juveniles y un adulto de *Trachurus picturatus*. Tanto el ejemplar de *Naucrates ductor* como el adulto de *Trachurus picturatus* presentaban un estado de conservación óptimo que permitió analizar sus contenidos estomacales, así como determinar su estado reproductivo.

La hembra de *Naucrates ductor*, capturada en mayo, presentaba un estado muy avanzado de desarrollo gonadal, y se había alimentado de juveniles de *Sardina pilchardus* y de *Trachurus picturatus*. La existencia de juveniles de chicharro en los estómagos de *N. ductor* indica la posibilidad de que esta especie si aproveche la presencia de los DAPs para alimentarse, ya que durante el momento de obtención de este ejemplar se encontraban presentes gran cantidad de juveniles de *Trachurus* spp.. Por otro lado, el ejemplar adulto de *T. picturatus* se había alimentado de juveniles de *Macroramphosus scolopax* y de *S. pilchardus*. No obstante, existen dudas de que los adultos de *T. picturatus* se estén alimentando en las proximidades de los DAPs.

Tabla 1.2. Proporción (%) de diferentes grupos taxonómico del zooplancton encontrados en los contenidos estomacales de juveniles de chicharro (*Trachurus picturatus*) y pez piloto (*Naucrates ductor*) peces capturados bajo los DAPs, respecto al medio circundante.

	<i>Trachurus picturatus</i>	<i>Naucrates ductor</i>	Medio Marino
Copépodos	45,67	77,41	55,41
Cladóceros	26,72	21,31	0,17
Moluscos	24,69	0,87	0,00
Otros	2,85	0,39	44,42

En uno de los muestreos se pudo capturar una hembra de *Coryphaena equiselis* de 45 cm de longitud estándar. Este ejemplar presentaba en su contenido estomacal juveniles de boga y caballa, que posiblemente no fueron comidos junto al DAP, ya que ese día no fueron observadas esas especies agregadas junto al mismo.

En septiembre de 1996 se pudieron capturar algunos ejemplares adultos de *Naucrates ductor*, cuyos contenidos estomacales presentaban principalmente larvas de crustáceos decápodos (algunos de ellos habían ingerido peces, aunque no fue posible identificar la especie). Sin embargo, este tipo de presas (larvas de crustáceos) representaba menos del 3% del zooplancton que se encontraba en el área, siendo el elemento más importante de las muestras zooplanctónica los copépodos (73%). El número de copépodos en los contenidos estomacales eran anecdóticos.

Por otro lado, los juveniles de *Trachurus picturatus* y *Naucrates ductor*, capturados bajo los DAPs durante el mes de mayo de 1997, presentaban sus estómagos repletos de zooplancton, especialmente copépodos, cladóceros y pequeños moluscos gasterópodos. Sin embargo, tal y como se puede observar en la tabla 1.2, la proporción de cladóceros y moluscos en los contenidos estomacales de los juveniles de *Trachurus picturatus* y *Naurates ductor* es muy superior a la encontrada en el medio circundante (Chi-cuadrado Observado vs. esperado=4187,1; $P < 0,00001$).

Esta diferencia en la composición de la dieta respecto al alimento disponible tiene su explicación en que, mientras las muestras de zooplancton han sido obtenidas a lo largo de una columna de agua de 30 m de profundidad, los peces tienen más disponible el plancton presente en los primeros metros de la columna. En estos primeros metros, e incluso centímetros, es donde se concentraban los cladóceros, especies que frecuentan aguas cálidas. Igualmente ocurre con las larvas de moluscos gasterópodos y bivalvos, cuya distribución es muy superficial, e incluso la propia balsa puede haber servido de soporte para la colocación de puestas de estos animales. De aquí se puede desprender que estos juveniles de peces, además de encontrar refugio en los DAPs, encuentran el alimento suficiente como para satisfacer sus necesidades fisiológicas básicas, tales como el ritmo de crecimiento.

1.3.7.- Capturas comerciales

Las capturas comerciales alrededor de los DAPs han sido principalmente de *Katsuwonus pelamis* (Fig 1.18), y en menor medida de *Coryphaena* spp. y *Thunnus alalunga*. Las capturas de *Katsuwonus pelamis* en las proximidades de un único DAP oscilaron entre los 200 y 3000 kilos por día de pesca, aunque el valor medio fue de aproximadamente 1000 kilos.

Por otro lado, las capturas de *Coryphaena* spp. bajo un DAP oscilaron entre los 10 y 400 kilos, con una captura media de aproximadamente 100 kilos. Esta especie es más abundante y frecuente junto a los DAPs de que lo que en un principio apuntan los datos de captura, sin embargo, y por motivos culturales más que económicos, resulta poco atractiva para los pescadores, quedando esto reflejado en las descargas. Existe constancia de una captura de aproximadamente tres toneladas de dorados (*Coryphaena* spp.) bajo un madero a la deriva, frente a la punta de Tenefé (Sureste de Gran Canaria) por parte de pescadores de Arguineguín en el verano de 1994.



Figura 1.18. Captura de bonito-listado (*Katsuwonus pelamis*) obtenida con cebo vivo.

En julio de 1995 se obtuvo una captura de 200 kilos de *Pseudocaranx dentex* bajo un único DAP. Se han obtenido capturas nocturnas de caballa (*Scomber japonicus*) a unos 20 metros de los DAPs, durante el verano de 1996, rondando entre los 500 kg y 1 tonelada. Estas últimas capturas han sido obtenidas con traíñas, mientras que el resto de especies han sido capturadas con curricán o cebo vivo.

Durante los meses de agosto y septiembre de 1996 se obtuvieron en los alrededores de un único DAP, fondeado sobre la isobata de 500 m, más de 200 toneladas de túnidos, mayoritariamente *Katsuwonus pelamis*, y en menor cantidad *Thunnus alalunga*.

1.3.8.- Longevidad de los DAPs

Con el término de longevidad de los DAPs entendemos el tiempo durante el cual los dispositivos han permanecido operativos, es decir, el intervalo de tiempo transcurrido desde el momento de la instalación en su lugar correspondiente, hasta el día de su pérdida por el motivo que fuese (tormenta, mal estado de las cuerdas, hundimiento por arrastre a mayores profundidades, roturas deliberadas, etc.).

Los DAPs tuvieron una vida media de 75 días, siendo el mes de agosto el período durante el cual se perdieron un mayor número de dispositivos (tabla 1.3), especialmente debido al fuerte incremento de la actividad de los barcos de pesca deportiva y de recreo.

Estas embarcaciones utilizaban los DAPs como puntos de fondeo, lo cual aumentaba la tracción sobre el anclaje debida al empuje de la corriente sobre el conjunto flotador/embarcación, ocasionando el hundimiento de los mismos al ser arrastrados hacia aguas más profundas.

Tabla 1.3. Profundidad, fecha de instalación, fecha de pérdida y longevidad (en días) de cada uno de los Dispositivos de Agregación de Peces fondeados en el sur de Gran Canaria durante el desarrollo del proyecto.

Profundidad (m)	Fecha de Instalación	Fecha de Pérdida	Longevidad (días)
51	01.04.95	02.07.95	92
55	01.04.95	02.07.95	92
98	01.04.95	22.07.95	111
100	01.04.95	06.10.95	189
126	04.08.96	20.10.96	77
133	04.08.96	20.08.96	17
142	04.08.96	05.09.96	33
150	28.09.96	19.10.96	22
151	04.08.96	05.09.96	33
161	04.08.96	20.08.96	17
300	28.09.96	29.03.97	151
351	04.08.96	20.11.96	109
364	04.08.96	20.08.96	17
480	04.08.96	02.11.96	91
TOTAL: 75,07 ± 54,4 días			

1.4.- Discusión

El estudio de los mecanismos que explican la tendencia natural que muestran los peces pelágicos a agregarse en torno a objetos flotantes es un fenómeno que ha atraído la curiosidad científica desde hace no muchos años (Mortesen, 1917; Uda, 1933; Kojima, 1956; Galea, 1961 y Hunter, 1968), aunque desde el punto de vista de su aplicación pesquera la explotación de este comportamiento se remonta a varios siglos (Biais y Tacket, 1990), y actualmente su utilización se extiende a muy diversas partes del planeta (Kojima, 1956; Galea, 1961; Kihara, 1981; Pollard y Matthews, 1985; Frusher, 1986; Wilkins y Goodwin, 1989; Beets, 1989; Feigenbaum *et al.* 1989; Biais y

Taquet, 1990; Holland *et al.*, 1990; Higashi, 1994; Kitamado y Kataoka, 1996; Potoschi, 1996). Sin embargo, no son del todo conocidos los mecanismos biológicos que explican este comportamiento agregatorio de determinadas especies (según Castro *et al.*, 2002, 333 especies, pertenecientes a 96 familias, se agregan bajo objetos flotantes).

Parin y Fedoryako (1999) proponen una organización espacial de la comunidad de peces agregada alrededor de objetos flotantes a la deriva (naturales o artificiales), basadas en tres grandes grupos: intranatantes, extranatantes y circumnatantes. Sin embargo, los límites espaciales que sirven para establecer la pertenencia de una especie a un grupo determinado resultan muy estrictos, especialmente si se tiene en cuenta que el comportamiento de los peces es variable con el tiempo, como respuesta a múltiples factores tanto inherentes como externos al propio animal.

Durante nuestras observaciones, los peces que estaban junto a los DAPs fueron generalmente juveniles de ocho especies, pertenecientes a cinco familias (aunque fueron censadas nueve familias y quince especies de peces). *Seriola* spp., *Naucrates ductor*, *Trachurus* spp. y *Pseudocaranx dentex* fueron las más comunes y abundantes, todas ellas pertenecientes a la familia Carangidae.

Los juveniles de peces se distribuyen espacialmente alrededor del DAP dependiendo del tamaño de los individuos y de que constituyesen cardúmenes o se tratase de individuos solitarios. Los individuos de menor tamaño se sitúan, casi generalmente, en una estrecha proximidad a los objetos flotantes, especialmente entre los trozos de redes. Sin embargo, esto no puede ser considerado como regla, puesto que en determinados momentos, estos mismos juveniles se alejan de la protección de las balsas, nadando hacia aguas más profundas. Igualmente, se podría decir que los individuos de mayor talla nada en los alrededores de la balsa, sin mostrar una dependencia tan directa de la misma. Es decir, en principio se podría sospechar que los peces pequeños buscan protección junto al DAP, mientras que en los peces de mayor talla, de la misma especie, esta dependencia no es tan clara. Pero, al igual que en el caso anterior, tampoco se puede deducir una regla general en función de la talla,

puesto que individuos de talla media (30-50 cm) como los subadultos de *Schedophilus ovalis*, se refugian entre las redes de los DAPs, no abandonando las mismas incluso cuando se encuentran amenazados.

El tiempo de residencia en las proximidades de los DAPs varió en función de las especies. Los juveniles de carángidos, tales como *Seriola* spp., *Naucrates ductor* (adultos y juveniles) y *Pseudocaranx dentex*, así como los juveniles de *Schedophilus ovalis* y *Kyphosus sectator* fueron censados de forma frecuente en torno a los dispositivos de agregación, mientras que los adultos de *Coryphaena* spp. fueron vistos en menos del 10% de los censos. Así, el primer grupo se considera especies residentes mientras que los segundos se establecen como visitantes esporádicos de los DAPs.

Las especies residentes buscan protección, tal como apuntan Ida *et al.* (1967), Wickham y Russell (1974) y Feigebaum *et al.* (1989), mientras que las especies visitantes posiblemente se aproximan a los DAPs por motivos alimenticios, principalmente atraídos por otros peces agregados bajos los DAPs, los que se conocen como baitfishes en la literatura (Wickham *et al.* 1973, Arenas *et al.* 1992; Kojima 1967, Ida *et al.* 1967, Massutí y Reñones 1994). Posiblemente, y tal como apuntan los datos obtenidos por Martínez *et al.* (2012), bajo los DAPs también se agrega mesozooplankton (de tallas entre 500 y 1000 μm), de forma significativa en comparación con el entorno alejado del mismo, y esta abundancia relativa puede también servir como atractivo para peces zooplanctófagos.

Otros especies visitantes, posiblemente atraídas por la biomasa íctica acumulada bajo los DAPs, son *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus alalunga*, aunque no se las ha observado nunca directamente bajo los DAPs, sino a cierta distancia de los mismos (entre 20 y 100 metros alrededor de los DAPs), y nunca por períodos de tiempo muy prolongados. Sin embargo, existen serias dudas de que estas especies, incluida *Coryphaena* spp., se alimentan de la ictiofauna asociada a los DAPs (Brock, 1985; Cort, 1990; Fonteneau, 1992, Massutí y Reñones 1994). *Prionace glauca* es otra especie clasificada como visitante. No obstante, Fréon y Dagorn (2000) plantean que

estas especies (i.e túnidos) utilizan los DAPs a la deriva como puntos de referencia o reunión para los ejemplares que se dispersan durante la noche para alimentarse. Estos puntos de referencia en mar abierto, sirven como elemento aglutinador de individuos para reconstruir los cardúmenes antes de reiniciar sus desplazamientos.

La biomasa de las especies ictiológica que se pueden considerar como residentes, compuesta especialmente por juveniles de medregal, jurel, pez piloto, chicharro o chopa perezosa, no superó nunca los 25 Kg. Es más, esta abundancia de la ictiofauna agregada bajo los DAPs estuvo significativamente afectada por la profundidad de la zona de anclaje (como ya indicaron Castro *et al.*, 1999). Los dispositivos fondeados en aguas menos profundas mostraron una menor biomasa agregada y un número más reducido de especies, posiblemente porque los individuos encuentran fácilmente refugios alternativos en estructuras de los fondos cercanos. Por otro lado, los DAPs sufren un proceso de maduración (Arena *et al.* 1992), y es posible pensar que los dispositivos más antiguos presentan una mayor proporción de su volumen sumergido colonizado por la comunidad de organismos incrustantes y adheridos, tales como algas, hidrozoos y crustáceos, y de aquí las cantidades de recursos alimenticios disponibles para la comunidad ictiológica. Por tanto, se puede suponer que podrían mantener una mayor biomasa de peces agregados. Sin embargo, la edad de los DAPs (tiempo transcurrido desde que el dispositivo fue fondeado) no tiene ningún efecto en la biomasa, aunque si en la diversidad de especies agregadas.

En total acuerdo con lo expuesto por Castro *et al.* (1999), parece que el principal factor que regula la composición de la ictiofauna y la abundancia fue la estación del año, la cual genera una sucesión de especies como consecuencia de los procesos naturales de reclutamiento en la región. Sin embargo, esto no es nuevo ya que es conocido que los cambios estacionales producen frecuentemente cambios sucesionales sobre los arrecifes artificiales (Lindquist *et al.*, 1995). Lukens (1981) y Stephan y Lindquist (1989), indican que los cambios estacionales en la abundancia de las especies más prominentes afectan en mayor grado a la comunidad agregada alrededor de los DAPs que la edad de los dispositivos. También Rountree (1990), apuntó que la disponibilidad de juveniles regulada por la estacionalidad es

aparentemente el factor más importante en la determinación la composición de especies y abundancia junto a los DAPs. La comunidad de peces alrededor de los DAPs en las Islas Canarias está dominada por juveniles de especies pelágicas, especialmente carángidos, especímenes que son observados a lo largo de todo el año, pero los alevines de estas especies se observan con una mayor frecuencia durante el verano.

Nuestros datos apoyan la hipótesis de que los juveniles se congregan alrededor de las balsas en busca del refugio que los DAPs proveen (Hunter y Mitchell, 1968; Feigebaum *et al.*, 1989), y que además encuentran localmente concentraciones relativamente altas de alimento disponible bajo los mismos (Gooding y Magnuson, 1967). Martínez *et al.* (2012) encuentran anómalas concentraciones de biomasa de zooplancton bajo los DAPs respecto al área circundante a los mismos, al menos en las profundidades intermedias (anclados sobre las isobatas de 100 a 150 m de profundidad), que dan soporte a la hipótesis propuesta por Gooding y Magnuson. Además, el análisis de contenidos estomacales de juveniles de *Trachurus picturatus* y *Naucrates ductor*, y de su comparación con las muestras de la composición de la comunidad zooplanctónica, se ha podido comprobar que estos peces encuentran concentraciones locales de zooplancton de los que se alimentan sin alejarse de los DAPs. Estas anómalas concentraciones de zooplancton podrían ser originadas por remolinos generados por la interacción de la balsa y cuerda de fondeo con la corriente (de la misma forma que el campo de corrientes alrededor de un pecio (Lindquist y Pietrafesa, 1989), o simplemente por el efecto de sombra que estos crean y que afectan al comportamiento migratorio de estos organismos (Forward, 1988; Cohen y Forward, 1992).

La mayoría de las especies observadas durante este estudio bajo los DAPs no presentaban una talla lo suficientemente grande como para resultar atractivas para la pesca comercial, excepto *Coryphaena* spp., *Schedophilus ovalis*, *Balistes carolinensis* y *Naucrates ductor*. Sin embargo, los DAPs agregan gran cantidad de juveniles que sirven de cebo a otras de mayor valor pesquero, que son atraídas al área (Rountree, 1990). La falta de observaciones de grandes predadores durante los censos, excepto

Coryphaena spp., puede ser debido a que estos se mantienen a cierta distancia de los DAPs, sobre todo cuando los observadores están presentes. Por otro lado, las capturas de túnidos obtenidas alrededor de los DAPs muestran este efecto atractivo. De hecho, en las proximidades de un solo DAP se han capturado más de 200 toneladas de túnidos, con cebo vivo, entre agosto y septiembre de 1996. Estas capturas presentaron un valor en el mercado próximo a los 24 mil euros, lo que significó que el coste del DAP fuese el 0,13% de la captura obtenida.

Existen estudios económicos sobre los DAPs realizados para pesquerías tradicionales desarrolladas en el océano Pacífico (Kearney, 1981; Katekaru, 1984). Sin embargo, la rentabilidad de la pesca bajo objetos flotantes no debe únicamente medirse en el número de toneladas capturadas frente al coste de construcción del dispositivo, sino también lo que representa la disminución del tiempo de búsqueda y en el gasto de combustible. Evidentemente, la presencia de los DAPs no significa un aumento de la abundancia de la especie en el ecosistema, solo un aumento local por agregación, ni una disminución del esfuerzo pesquero. El esfuerzo debe ser medido en otra unidad diferente a la utilizada cuando los objetos flotantes no están presentes, de forma que siga siendo proporcional a la mortalidad por pesca generada sobre los stocks objetivo.

En resumen, la abundancia de la ictiofauna asociada a los DAPs está afectada por la distancia a la costa. La comunidad de peces estuvo principalmente formada por estadios juveniles de varias especies, posiblemente buscando refugio bajo los DAPs, constituyendo de forma mayoritaria el grupo de especies residentes. Muchos de estos juveniles, además de refugio, encuentran alimento junto a los DAPs, especialmente anfípodos y otros invertebrados asociados a la estructura flotante. En algunos de los DAPs hemos encontrado concentraciones de zooplancton mayores respecto al área circundante. La comunidad de juveniles agregados bajo los DAPs puede significar un factor de atracción a especies de mayor valor económico tales como túnidos y corifénidos

CAPITULO 2

Análisis del Impacto de los DAPs utilizados en la pesquería comercial de túnidos en el Océano Índico

2.1.- Introducción

La pesca con cerco es uno de los métodos extractivos más utilizados para la captura de especies pelágicas, particularmente peces pelágicos medianos y túnidos (Rodríguez-Alfaro, 2013). Este tipo de artes también se utiliza para pescar cardúmenes o agregaciones de peces asociados a objetos flotantes, como troncos y otros objetos a la deriva de origen natural (incluso cadáveres de ballenas) (Castro *et al.*, 2002) como antropogénicos (i.e. DAPs) (Fonteneau *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2007). Ramas y troncos de árboles, así como otra gran variedad de objetos, se encuentran flotando a lo largo del océano, pero son más frecuentes en zonas de convergencia de corrientes y masas de aguas. También los atunes se agregan en torno a estos objetos por varias posibles razones (e.g. alimentación, refugio, orientación, etc.) (Fréon y Dagorn, 2000; Castro *et al.*, 2002; Dempster y Taquet, 2004). No obstante, este comportamiento agregatorio de las diferentes especies de atunes aumenta su vulnerabilidad (Itano y Holland, 2000).

Hampton y Bailey (1993) hacen una detallada descripción de las principales asociaciones de túnidos objetivo de la pesquería de cerco que se desarrolla en el Océano Pacífico Occidental, que pueden ser fácilmente extrapoladas a otras áreas de la pesca mundial. Sin embargo, la pesca de estas especies no se restringe sólo a la captura de cardúmenes asociados a objetos flotantes a la deriva, sino también sobre los que se conocen como "bancos libres", es decir no asociados a objetos. Estos últimos normalmente se asocian a estructuras oceanográficas y geográficas características, tales como montes submarinos, zonas frontales, afloramientos, donde

encuentran condiciones ambientales favorables (i.e. temperatura) y alimento (González-Ramos, 1992; Ganzedo-López, 2005; Morato *et al.*, 2010).

En el Pacífico Occidental tropical tuvo comienzo la primera pesquería de cerco sobre túnidos asociados a objetos flotantes a la deriva (Doulman, 1987). La primera pesquería comercial sobre dispositivos de agregación de peces (DAPs o FADs en sus siglas inglesas) se desarrolló en Filipinas, a principios de la década de 1960, orientada a la captura de rabil (*Thunnus albacares*) (Greenblatt, 1979). Los objetos flotantes a la deriva de origen natural son principalmente agrupaciones de algas, medusas, partes de árboles, etc. (Nelson, 1999; Castro *et al.*, 2002). También una gran cantidad de desechos y basuras derivan flotando por los océanos, gran parte de ellos arrojados de buques, tales como pallets de madera, bidones, plásticos, cuerdas, restos de redes, etc..

Existe una gran cantidad de trabajos científicos sobre los tipos y diseño de DAPs actualmente en uso por las distintas flotas de pesca, particularmente en el Océano Pacífico Occidental (e.g. Preston 1982; SPC 1990, 1992; Malig *et al.*, 1991; Itano *et al.*, 2004). Los DAPs agregan un considerable número de especies de peces diferentes a los túnidos, desde las típicas especies asociadas a arrecifes como el pintano (*Abudefduf saxatilis*), macarela (*Elagatis bippinulata*) y barracudas (*Sphyrna barracuda*), a las verdaderamente pelágicas como el pez puerco (*Canthidermis maculatus*), el tiburón oceánico de puntas blancas (*Carcharhinus longimanus*), dorados (*Coryphaena hippurus*) y la aguja azul (*Makaira nigricans*) (Castro *et al.*, 2002). Algunas de estas especies, particularmente las especies de pequeños pelágicos como el pintano, macarela amarilla (*Decapterus macarellus*), melva (*Auxis thazard*) y bacoreta (*Euthynnus affinis*), se agregan en grandes cantidades, del orden de toneladas. Para los pescadores norteamericanos de cerco todas estas especies son agrupadas bajo el nombre colectivo de 'baitfish' (Hunter y Mitchell, 1967; Castro *et al.*, 2002), aunque muchas de ellas compiten o predan sobre especies de túnidos (Anonymous, 1993).

En general, gran parte de la pesquería de cerco orientada a túnidos se

fundamenta sobre la captura de bancos asociados a objetos flotantes, particularmente bajo objetos diseñados para esa finalidad (DAPs), en todos los océanos (Fonteneau *et al.*, 2000; Dempster y Taquet, 2004). El gran desarrollo de las pesquerías de túnidos con objetos (DAPs) se produjo a partir de 1990, principalmente en las áreas ecuatoriales, desarrollo que aún continúa.

En este sentido, la captura de las pesquerías de túnidos asociados a DAPs está en torno a los 2 millones de toneladas anuales (alrededor del 60% de la captura total es realizada con cerco), basada principalmente en el bonito-listado (*Katsuwonus pelamis*) (70% de las capturas de esta especie se obtienen con DAPs) (Fonteneau, 2011; Davies *et al.*, 2014). Por otra parte, la mayoría de los stocks de patudo (*Thunnus obesus*) y rabil (*Thunnus albacares*) se suponen sobreexplotados (Langley *et al.*, 2009), y los especímenes de estas especies que se concentran en torno a los DAPs son fundamentalmente juveniles (Robert *et al.*, 2012), con un peso medio inferior (3-5 Kg) al considerado adecuado para la correcta gestión de los stocks. De este modo, el masivo uso de DAPs por las flotas cerqueras, en todos los océanos, ha introducido un gran nivel de incertidumbre en la mayoría de las evaluaciones de stocks, debido a la dificultad en el análisis de los cambios experimentados en el esfuerzo de pesca (el uso de DAPs afecta a la cuantificación de la capturabilidad y pone en duda la validez del uso de la CPUE como un índice adecuado de las variaciones en la abundancia) (Fonteneau *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2014).

Según Fonteneau *et al.* (2000) y Filmlalter *et al.* (2013), el uso masivo de DAPs es quizás una forma no segura de pesca, que podría producir la sobrepesca de muchos stocks, no solo de las especies de túnidos sino también de las que son capturadas como parte del by-catch (e.g. tiburones), la mayoría de las cuales son posteriormente descartadas. Sin embargo, Dagorn *et al.* (2013) apuntan que los DAPs, bajo una adecuada estrategia de gestión, podrían ser un método de pesca ecológico, debido a que genera menor proporción de descartes que cualquier otro sistema de pesca.

De este modo, el problema de la sobrepesca de reclutamiento que se produce

sobre los stocks de túnidos (en los DAPs se captura una alta proporción de juveniles de estas especies), particularmente en el caso del patudo, podría ser minimizado para alcanzar una forma más óptima de gestión de los stocks objeto de estas pesquerías (Floyd y Pauly, 1984). En este sentido, actualmente se está discutiendo, por parte de diferentes Comisiones Internacionales de Túnidos, la introducción de medidas de mitigación para reducir las capturas incidentales de rabiles y patudos pequeños (Fonteneau *et al.*, 2000). Se estima que 7,3 millones de toneladas de peces de especies no-objetivo (by-catch), incluyendo atunes de talla inferior a la comercial, son descartadas anualmente en el conjunto de pesquerías mundiales (Kelleher, 2005). Esto tiene un impacto económico, ecológico y de desarrollo considerable (García *et al.*, 2003).

Aunque los descartes producidos en las pesquerías de túnidos con cerco son, en promedio, aproximadamente 6 veces menos que los producidos en las pesquerías de túnidos con palangre, y casi 13 veces menos que el generado en las pesquerías de camarón con arrastres (Kelleher, 2005), cuando en estas se introduce el uso de DAPs los niveles de by-catch aumentan de forma significativa (Hall, 1998; Dempster y Taquet, 2004). Globalmente, se estima que la pesca con DAPs, de forma conservativa, produce aproximadamente 100.000 toneladas de by-catch al año (Bromhead *et al.*, 2003). El by-catch obtenido en los lances con DAPs significan en torno al 10% de la captura total (sobre bancos libres solo se genera entre el 1 y 2%), y está compuesta tanto por atunes de talla pequeña como por una amplia variedad de ejemplares de otras especies (Fonteneau *et al.*, 2000; Hall y Roman, 2013). Los juveniles de las especies de atún objetivo representan entorno al 90-95% del by-catch (Hall y Roman, 2013). Las especies no-objetivo incluyen dorados, pez espada, marlines, peto, gallos, barracuda, pintano, tiburones y tortugas (Fonteneau *et al.*, 2000; Bromhead *et al.*, 2003; Norris, 2002; Filmlalter *et al.*, 2013; Davies *et al.*, 2014).

En el Océano Índico, se estima que el by-catch anual generado por las flotas cerqueras europeas ronda las 11.590 toneladas, el 4,7% de la captura total de túnidos desembarcada en el periodo 2003–2009 (Amandè *et al.*, 2012). Sin embargo, el uso de

DAPs se está extendiendo cada vez más por aguas tropicales y subtropicales de este océano (Fonteneau *et al.*, 2000; Bromhead *et al.*, 2003). De hecho, más de la mitad de la captura mundial de túnidos (estimada entorno a los 3,5 millones de toneladas al año) procede de bancos asociados a objetos flotantes (FADIO, 2004). Esta cifra aumenta con el uso progresivo de los DAPs, siendo este fenómeno particularmente relevante en el Océano Índico (Fonteneau y Hallier, 2003; FADIO, 2004; Davies *et al.*, 2014).



Figura 2.1. Buque cerquero español (Demicu, Pesqueras Echebaster SLU) dedicado a la pesca de túnidos con DAPs en el Océano Índico tropical.

Por otro lado, en estas pesquerías está siendo cada vez más un objetivo el evitar las capturas incidentales de atunes de talla no comercial o de otras especies no-objetivo de la mismas (Hall y Roman, 2013). De este modo, algunas compañías están promoviendo el uso de DAPs no enmallantes (ne-DAPS) con el objeto de reducir, o eliminar si fuese posible, el riesgo de enmallar tiburones y otras especies no objetivo. En este contexto, el objetivo de este capítulo es analizar los resultados de la estrategia

de implantación de ne-DAPs por parte de la flota de Pesqueras Echebaster en el Océano Índico

2.2.- Material y Métodos

Se obtuvieron los registros de capturas de tres barcos de la flota de cerqueros de la empresa Pesqueras Echebaster S.L.U. (Bermeo, Vizcaya) (Fig. 2.1) que operaban en el Océano Índico, entre enero y abril de 2013 (Fig. 2.2). La obtención de los datos fue realizada por observadores a bordo, contratados por la Fundación Parque Científico Tecnológico de la ULPGC, que participaron en sendas campañas de pesca de aproximadamente 30 días cada una.

Éstos registraron el número de lances realizados, tipo de operación de pesca (i. e. sobre bancos libres o sobre agregaciones de peces bajo DAPs a la deriva), tipo de DAP (objetos naturales o artificiales, y si estos últimos eran ne-DAPs), fecha, hora, latitud y longitud, estimación de la biomasa del cardumen, composición en especies del by-catch, captura del by-catch por especie (en número de individuos o peso), número de individuos enmallados en las redes de los DAPs, número de peces que fueron liberados vivos al mar, captura total y captura de las especies objetivo (i.e. atunes).

Para estimar el impacto de los ne-FADs (Fig. 2.3) sobre las especies que componen el by-catch, particularmente tiburones, se comparó el número de ejemplares enmallados en cada tipo de dispositivo (natural o artificial) en los casos en los que se dispuso de datos.

Se realizó el análisis estadístico de los datos con objeto de encontrar diferencias entre los tipos de operaciones de pesca (lances) en relación con la captura de túnidos y, particularmente, entre especies del by-catch capturados en DAPs tradicionales (o enmallantes) y ne-DAPs. El análisis fue realizado con ayuda del paquete estadístico Statistica v12 software (StatSoft Inc., 2011).

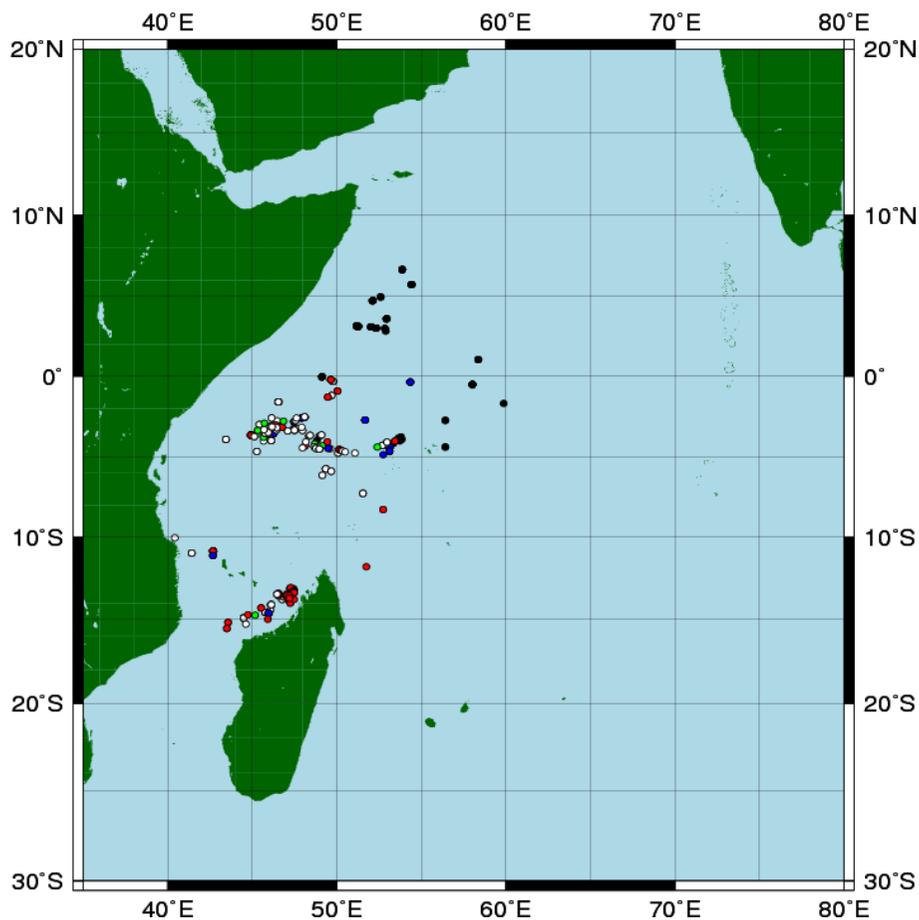


Figura 2.2. Distribución geográfica de los puntos donde se han realizado las capturas en el Océano Índico Occidental y que se han tenido en cuenta en el desarrollo de este trabajo (en negro los lances donde no se dispone de datos sobre el tipo de DAP; en verde los lances sobre bancos libres; en rojo los lances sobre objetos naturales/artificiales tales como basuras, ramas de árboles, cajas de plástico, pallets, etc.; en azul los lances sobre DAPs tradicionales; y en blanco los lances sobre ne-DAPs).

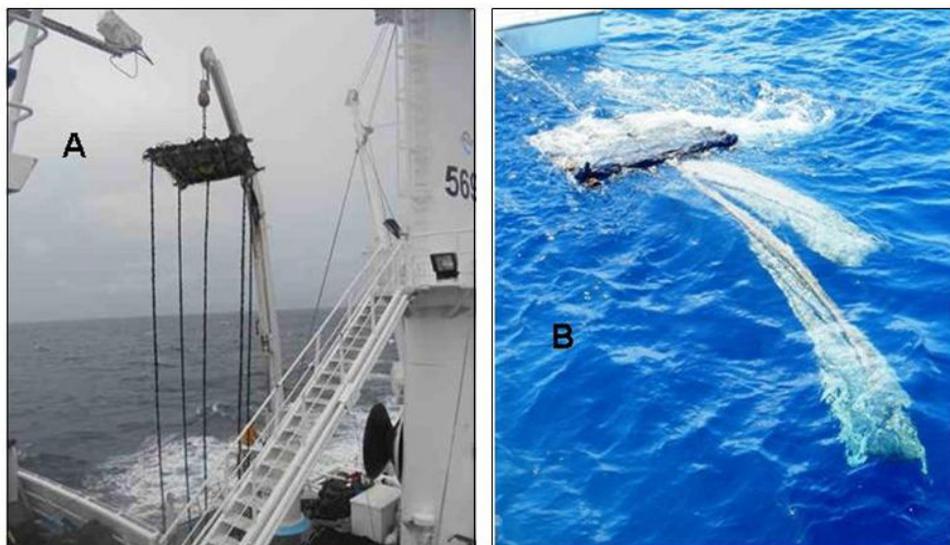


Figura 2.3. DAP no enmallante utilizado durante este estudio (A) y DAP (con una cola de redes colgando del flotador) utilizado tradicionalmente en las pesquerías de túnidos con cerco llevadas a cabo en el Océano Índico (B).

2.3.- Resultados

Se realizaron un total de 168 lances, 10 de los cuales fueron nulos (sin captura) y en 22 no se registró toda la información necesaria. Del total de 136 lances positivos, 7 fueron realizados sobre bancos libres, 39 fueron efectuados sobre basuras a la deriva, de origen natural o artificial, 15 fueron sobre DAPs tradicionales y 75 fueron hechos sobre ne-DAPs.

2.3.1- Composición en especies de la captura

Los túnidos fueron las especies objetivo de la flota, destacando por orden de importancia el bonito-listado (*Katsuwonus pelamis*), rabil (*Thunnus albacares*) y patudo

(*T. obesus*). También, como parte del by-catch, se capturó de forma habitual un grupo de 12 especies (Tabla 2.1). Además, se capturaron tres especímenes de tortuga boba (*Caretta caretta*) en tres lances diferentes, pero en dos de ellos los observadores no anotaron el tipo de DAP, mientras que la tercera fue obtenida en una operación de pesca sobre un objeto natural a la deriva. No se capturó ninguna especie de ave o mamífero marino durante el periodo de estudio.

Tabla 2.1. Especies capturadas en el Océano Índico Occidental, de enero a abril de 2013, por la flota cerquera de Echebaster.

Nombre científico	Nombre común
Especies Objetivo	
<i>Katsuwonus pelamis</i> (Linnaeus 1758)	Bonito listado
<i>Thunnus albacares</i> (Castelnau, 1872)	Rabil
<i>Thunnus obesus</i> (Lowe, 1839)	Patudo
Especies del By-catch	
<i>Elagatis bipinnulata</i> (Quoy y Gaimard 1825)	Pintano
<i>Acanthocybium solandri</i> (Cuvier, 1832)	Peto
<i>Sphyræna barracuda</i> (Walbaum, 1792)	Barracuda
<i>Canthidermis maculatus</i> (Bloch, 1786)	Gallo
<i>Aluterus monoceros</i> (Linnaeus, 1758)	Lija unicornio o barbuda
<i>Coryphaena hippurus</i> Linnaeus 1758	Dorado
<i>Kyphosus sp.</i>	Chopones
<i>Xiphias gladius</i> (Linnaeus, 1758)	Pez espada
<i>Tetrapturus sp.</i>	Aguja
<i>Carcharhinus falciformis</i> (Müller y Henle, 1839)	Tiburón sedoso
<i>Mobula spp.?</i>	Manta
<i>Caretta caretta</i> (Linnaeus, 1758)	Tortuga boba

Canthidermis maculatus, *Aluterus monoceros*, *Carcharhinus falciformis* y *Coryphaena hippurus* fueron las especies más comunes en el by-catch. No fue posible determinar la contribución de estas especies a la captura total porque los datos disponibles unas veces fueron consignados en número de individuos y otras con peso total, sin referencia a la longitud total de los individuos. Esta falta de información fue debida a que los muestreadores solo podían registrar la información, que eran capaces de obtener en cada momento, sin interferir en las operaciones de pesca.

El mayor número de tiburones capturados en un único lance fue de 75, mientras que 2 fue el número máximo de especímenes de estas especies enmallados en un solo DAP (Foto 2.4). Dos tiburones sedosos (*Carcharhinus falciformis*) fueron obtenidos enmallados en dos ne-DAPs, debido a que quedaron retenidos por las aletas pectorales en los bordes del flotador por deficiencias en las uniones de la red que cubría el núcleo de bambú del flotador.



Figura 2.4. Ejemplar de tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) en el by-catch obtenido tras una operación de cerco sobre un DAP.

2.3.2.- DAPs enmallantes vs no-enmallantes

El número de especímenes enmallados en los DAPs tradicionales osciló entre 0 y 2, en el 37,5% de los lances positivos. Sin embargo, en el caso de los ne-DAPs la frecuencia de retenciones osciló entre 0 y 1, reduciéndose el porcentaje de lances positivos al 2,6%. Por otro lado, se observaron diferencias significativas en el número de especies retenidas (enmalladas) cuando se compararon los diferentes tipos de dispositivos utilizados, incluyendo las agregaciones bajo basura u objetos naturales y los bancos libres (Kruskal-Wallis ANOVA; $H=27,8$; $P<0,0001$; $N=136$). Obviamente, los DAPs tradicionales o enmallantes fueron los que generaron una mayor retención de peces entre su mallas. Igualmente, al comparar el impacto generado por los DAPs enmallantes y no enmallantes, se apreciaron diferencias significativa entre ambos, siendo los primeros los que generaban una mayor cantidad de retenciones de ejemplares entre sus mallas (Mann-Whitney U test; $Z=4,4$; $P<0,001$; $N_1=15$; $N_2=75$).

2.3.3.- Impacto sobre las capturas de especies objetivo de los ne-DAPs

No se observaron diferencias significativas en la captura total obtenida por lance de las especies objetivo, con independencia del tipo de operación realizada y de la naturaleza de los DPAs. Tampoco se encontraron diferencias entre las operaciones de pesca con diferentes tipos de DAPs, cuando el análisis se realizó para las diferentes especies de túnidos objetivo de la flota. No obstante, las capturas de *Thunnus albacares* fueron mayores cuando las operaciones se realizaron sobre bancos libres (Kruskal-Wallis ANOVA, $H=11,3$; $P=0,009$). Esto no ocurrió en el caso de *T. obesus* y *Katsuwonus pelamis*.

2.3.4.- Análisis del by-catch

Debido a que la mayoría de las especies que se agregan en torno a los diferentes dispositivos flotantes responden a estímulos independientes de la

naturaleza, forma y tamaño del DAP, no se encontraron diferencias significativas en la proporción de especies del by-catch según la operación de pesca sobre objetos.

2.4.- Discusión

Muchas organizaciones científicas, gubernamentales y ONGs plantean la necesidad de reducir las capturas de especies no-objetivo, principalmente de las más amenazadas, en las pesquerías de cerco sobre túnidos, y que esto debe ser uno de los primeros pasos para reconducir el problema de la sobreexplotación (Hall y Roman, 2013). Sin embargo, estas estrategias para reducir el by-catch raramente se implantan de manera instantánea o de forma completa, y ninguna de las ya implementadas ofrecen soluciones del todo satisfactorias (Hall *et al.*, 2000; EJF, 2005). Desgraciadamente el uso masivo de DAPs en todos los océanos en las pesquerías de túnidos, es un sistema de pesca que puede contribuir de forma clara a la sobreexplotación de muchos de los stocks objetivo de las pesquerías, pero también de las especies capturadas como parte del by-catch (e.g. especies amenazadas de extinción como tiburones, tortugas, etc.) (Floyd y Pauly, 1984; Fonteneau *et al.*, 2000; Filmalter *et al.*, 2013; Hall y Roman, 2013).

Debido al patrón de comportamiento de muchas de las especies que se agregan bajo objetos flotantes a la deriva (Hall, 1992; Parin y Fedoryako, 1999; Freon y Dagorn, 2000; Castro *et al.*, 2002; FADIO, 2004), las pesquerías de cerco sobre DAPs han dado como resultado un aumento en la captura de juveniles de varias especies, principalmente patudos (*Thunnus obesus*) (Fonteneau *et al.*, 2000). Por ello, es esencial desarrollar métodos efectivos que mitiguen su impacto y alcanzar una pesca de túnidos más sostenible. En este sentido, la Agencia de Pesca de Japón ha llevado a cabo campañas experimentales de pesca con dos tipos de DAPs con luz sumergida (Kawamoto *et al.*, 2012), que generan estímulos de luz continua o en flases. Sin embargo, no obtuvieron resultados concluyentes a pesar de que observaron una disminución de patudos en el by-catch.

Con un objetivo similar, Pesquera Echebaster ha diseñado DAPs que carecen de la cola de redes en su parte sumergida (ne-DAPs), con la idea de reducir así el enmallamiento de tiburones, tortugas y de otras especies que son frecuentes en el by-catch de las flotas cerqueras (Anonymous, 1993; Martínez-Rincón *et al.*, 2009), pero que sigan siendo igualmente eficientes en la captura de las especies objetivo. Así, y a pesar de que la cantidad de peces enmallados en estos ne-DAPs fue muy inferior, en números absolutos, que los retenidos en los DAPs tradicionales, el promedio de captura de túnidos obtenida por los cerqueros de Echebaster (media=31,3 t por lance; SD=29,0) fue ligeramente más alto, aunque no significativo, que el obtenido con los dispositivos clásicos (media= 23 t por lance; SD=12,8). Niveles de captura que coinciden con los datos dados para la flota cerquera francesa que opera en el Océano Índico.

En este sentido, Goujon *et al.* (2012) indican que las capturas obtenidas por lance en ne-DAPs, por parte de la flota francesa, fueron mayores, en promedio, que las obtenidas en lance sobre otros objetos. Incluso fueron más altas que la captura media por lance obtenida por esta flota a lo largo de la historia reciente de la pesquería. Sin embargo, Chassot *et al.* (2011) apuntan que la producción de los ne-DAPs fue muy similar a la obtenida con los DAPs clásicos (alrededor de 25 t/lance). Es decir, la falta de piezas de redes colgando del flotador del dispositivo en los ne-DAPs, no parece que tenga efectos en la capacidad de agregar peces bajo ellos, funcionando en forma similar a los objetos flotantes de origen natural (Hall, 1992; Fréon y Dagorn, 2000; Castro *et al.*, 2002). En otras palabras, se debe tener en cuenta que los DAPs, enmallables o no, se usan para agregar peces bajo o alrededor de las estructuras flotantes, como una respuesta natural en el comportamiento de muchas especies de peces (Holland *et al.*, 1990; Cayré, 1991; Hall, 1992; Freon and Dagorn, 2000; Castro *et al.*, 2002; Dempster y Taquet, 2004) y, por esta razón, no es posible reducir el by-catch de forma significativa en la pesquería de cerco con DAPs. Por tanto, no se puede introducir ninguna característica específica que permita la atracción de las distintas especies de atunes hacia los DAPs, pero que no atraiga a sus fases juveniles u a otras especies no-objetivo.

Por otra parte, se sabe que niveles altos de by-catch pueden causar una importante reducción en la biomasa de las especies afectadas, y puede alterar la estructura ecológica y la biodiversidad de los océanos (Hall *et al.*, 2000; Dempster y Taquet, 2004). Las poblaciones de muchos animales marinos (e.g. mamíferos, tortugas, tiburones, aves marinas y peces) han sido impactadas muy negativamente por artes de pesca poco selectivas (Hall *et al.*, 2000). Y, en este sentido, los DAPs son una importante fuente de mortalidad para algunas especies ya amenazadas de extinción (Gilman y Freifeld, 2003; Filmlalter *et al.*, 2013; Lewison *et al.*, 2004; Dempster y Taquet, 2004), y pueden estar funcionando como trampa ecológica (Marsac *et al.*, 2000) con consecuencias desconocidas también para las especies objetivo (Hallier y Gaertner, 2008; Davies *et al.*, 2014). Además, los efectos bioecológicos negativos de los altos niveles de by-catch producirán también, a medio plazo, impactos económicos negativos (García *et al.*, 2003; Hall y Roma, 2013).

Los costes asociados a la manipulación, clasificación y descarte del by-catch son considerables, tanto en consumo de tiempo como de energía, haciéndolos poco rentables. Y si el by-catch está fundamentado en especies con valor comercial (particularmente en fases juveniles), además de reducir los beneficios y decrecer la producción, puede ser la causa del colapso prematuro de las pesquerías (Hall *et al.*, 2000). Por tanto, las compañías pesqueras deben ser las primeras interesadas en mantener los stock en un estado de explotación saludable, y la única vía para reducir el by-catch es a través de reducción del esfuerzo pesquero global (Hall *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2014).

CAPITULO 3

Teoría general sobre la agregación de peces a objetos flotantes a la deriva

3.1.- Introducción

Los primeros estudios científicos sobre las causas que explican el comportamiento agregativo de peces bajo objetos flotantes se llevaron a cabo en el Mar de Japón (Kojima, 1956; 1960a,b; 1966). Estos fueron seguidos por los estudios de Gooding y Magnuson (1967), y Hunter y Mitchell (1968) en el Pacífico Centro-oriental, así como por otros muchos (e.g., Wickham y Russell, 1974; Greenblatt, 1979; Feigenbaum *et al.*, 1989; Rountree, 1989; Fréon y Dagorn, 2000; Castro *et al.*, 2002; Dempster y Taquet, 2004). A pesar de la cantidad de investigaciones que se han llevado a cabo, los motivos de este comportamiento siguen estando escasamente entendidos.

El objetivo de este capítulo es revisar las principales hipótesis que se han propuesto para explicar el comportamiento agregativo de los peces en torno a dispositivos flotantes, así como proponer una teoría unitaria sobre los mecanismos de agregación y asociación a estos objetos.

3.2.- ¿Cuándo un pez esta agregado a un objeto flotante? (una definición de agregación)

El comportamiento asociativo se define como la relación espacial entre un animal (o un grupo) de una determinada especie y un organismo de otra especie o un objeto, sobre la base de la decisión de por lo menos uno de los dos individuos a

mantener el contacto, pero sin alimentarse uno del otro. Aunque Fréon y Dagorn (2000) amplían esta definición para incluir las estructuras topográficas (montes submarinos, isla, etc.) que no son el hábitat exclusivo del animal asociado, pero que en nuestra opinión estas deben estar en una categoría diferente a la del tipo de objetos que se estudia en esta tesis. Sin embargo, para comprender claramente el comportamiento agregatorio de los peces existen dos obstáculos: las diferentes definiciones de la terminología utilizada por los diversos autores y, a veces, la falta total de distinción entre los términos de agregación y asociación.

¿Cuáles, si las hay, son las diferencias entre peces agregados y asociados? ¿Cuándo un pez se considera agregado a una estructura flotante? ¿Son términos sinónimos? De acuerdo con el diccionario (Longman, 1984), una asociación ocurre cuando un individuo está estrechamente conectado o acompañado de otro con un fin común. Sin embargo, agregación se define como un conjunto de unidades (objetos inanimados, animales, plantas, etc.) en un solo cuerpo, masa o sustancia cuantificable (un organismo compuesto), con unidades fácilmente identificables de los demás. En este sentido, las diferencias entre los dos términos son menores y solo se diferencian en la motivación de la relación. No obstante, en el sentido de la relación entre el pez (o un grupo de peces) y un objeto flotante, los dos términos tienen connotaciones diferentes con respecto a las distancias entre los peces y el objeto, y también, ciertos matices relacionados con el grado de dependencia de los peces con el dispositivo flotante.

No todas las especies de peces registradas como agregados o asociados a objetos flotantes mantienen la misma distancia de la estructura flotante ni se comportan de la misma manera junto a ella (Parin y Fedoryako, 1999). Por este motivo, utilizamos los términos asociación o agregación, en referencia a un grupo de especies, según criterios de distancia entre los peces y el objeto flotante, y el grado de dependencia que estos muestran hacia el objeto flotante. Por tanto, los peces agregados a una estructura flotante son aquellos que viven muy cerca de la estructura y presentan una enorme dependencia hacia la misma (obtener alimento, refugio, etc.). Los peces asociados a un objeto flotante son aquellos que se mueven, en torno a éste,

en distancias que abarcan entre una decena y varias centenas de metros, y no muestran una clara dependencia vital con respecto a su presencia. En este sentido, distinguiremos en todo el texto entre especies agregadas y asociadas, y presentaremos argumentos en favor de esta categorización.

La distancia mantenida por los peces a una estructura flotante, ya sea bajo la misma o en torno a ella, y que nos permitirá diferenciar entre especies agregadas y asociadas, es muy diversa en la literatura. Por ejemplo, Buckley y Miller (1994), consideran que los peces están asociados a DAPs si estos son capturados a una distancia menor a 1,6 kilómetros de las estructuras flotantes. Sin embargo, Kingsford (1999) concluye que la zona de influencia, o de alcance espacial, de los efectos de los DAPs depende de la talla de los peces. En concordancia con Kingsford, pensamos que la esfera de influencia de los DAPs dependerá de cada especie y de la etapa de desarrollo en la que se encuentren los peces. Así, para los juveniles (i.e., *Seriola* spp.) la dimensión de la esfera de influencia puede oscilar entre unos pocos centímetros a metros del núcleo del objeto, mientras que para los subadultos de la misma especie esta distancia puede ampliarse hasta un centenar de metros.

La distancia de la asociación de *Naucrates ductor* va desde unos pocos centímetros a pocos metros, mientras que para el rabil (*Thunnus albacares*) esta puede variar desde unos cientos de metros a kilómetros. Por ejemplo, Fréon y Dagorn (2000), aplicando una técnica descrita en Josse *et al.* (1999), distinguen entre tres clases diferentes de "agregaciones" basadas en un sistema de ecolocalización: (i) cardúmenes de atunes que estaban "muy próximos" al DAP (a menos de 200 m, entre la superficie y 50 m de profundidad); (ii) atunes que se encontraban "próximos" al DAP, a una distancia intermedia (entre la superficie y 200 m de profundidad, con un descenso en la densidad de ecos hacia los 700 m); y (iii) atunes localizados entre los 100 m y 350 m de profundidad y que fueron detectados hasta 1.500 metros de distancia del DAP (en el límite de la zona de prospección). Aquí se puede observar que el hecho de definir la distancia desde el objeto flotante parece ser importante cuando se describe el comportamiento y, a pesar de que la distancia en metros es una magnitud específica, no podemos aplicar los términos "cerca" y "lejos" porque son muy

subjetivos (una distancia de 200 m es cerca para el atún, pero muy lejos de los juveniles de *Seriola*).

En la literatura es frecuente encontrar clasificaciones de peces en función de la distancia de los mismos hasta el núcleo de la estructura flotante, que pasan por alto el hecho de que los peces también se mueven en función de sus necesidades biológicas (ritmos día/noche, hambre, presencia/ausencia de depredadores, etc.). Por ejemplo, Kojima (1960b) da una distribución radial de los peces en torno al DAP que coincide ampliamente con la aportada por Parin y Fedoryako (1999), donde se proponen tres grandes grupos de organización espacial para la comunidad de peces agregados: intranatantes (a menos de 50 cm del objeto), extranatantes (entre 50 cm y 2 m del objeto) y circumnatantes (a más de 2 m del objeto). Recientemente, Fréon y Dagorn (2000) han propuesto algunas modificaciones en las distancias utilizadas en la clasificación por Parin y Fedoryako (1999), aunque sin introducir modificaciones significativas en el modelo original.

Como se puede ver, la clasificación de las especies en función de la distancia de la agregación/asociación de los peces al objeto flotante parece ser ampliamente arbitraria, y no siempre se tienen en consideración aspectos tales como la longitud de los peces (movilidad), color (camuflaje), etapa de desarrollo (juvenil o adulto), comportamiento social (cardúmenes o individuos solitarios) y/o las condiciones ambientales (corrientes, la presencia de depredadores, presencia coespecíficos, etc.). Sin embargo, como regla general, se puede considerar que los individuos de pequeño tamaño (con frecuencia de un color oscuro o naranja o con barras verticales oscuras) generalmente se encuentran muy cerca (en el rango de centímetros a pocos metros) de la estructura flotante, especialmente entre las ramas o trozos de red que constituyen el volumen sumergido del DAP (se puede decir que están agregados y parecen estar integrados en un hábitat hecho a medida). Por otro lado, los peces de mayor tamaño se encuentran más alejados de las balsas, especialmente en el plano vertical, y nadan alrededor de ellas sin mostrar dependencia directa de la misma (podemos decir que están asociados). Kojima (1960b), y Mitchell y Hunter (1970)

observaron que estos peces eran adultos de mayor tamaño y presentaban la típica coloración pelágica (dorso oscuro y vientre plateado).

3.3.- ¿Qué son los objetos flotantes?

Como consecuencia de los dos seminarios internacionales que tuvieron lugar en La Jolla-California (1992) y en Martinica (1999) sobre objetos flotantes y atunes, se estableció una distinción entre objetos flotantes a la deriva y anclados o fijos (Fréon y Dagorn, 2000). Ambos dispositivos comparten la condición de que flotan en superficie o a media profundidad en la columna de agua, creando un volumen sumergido que actúa como sustrato para una gran variedad de invertebrados y da algún tipo de refugio a los peces. Desde el punto de vista de nuestra teoría, las diferencias entre ellos no son significativas, por lo menos en términos del comportamiento de los peces alrededor de los objetos.

Los objetos flotantes a la deriva de origen natural son principalmente masas de algas, medusas, cadáveres de ballenas, plumas de aves marinas, y partes de árboles arrojados al mar desde los ríos y que se encuentran flotando en el interior de los océanos. Las pesquerías tradicionales "al objeto" se han desarrollado en gran medida en las aguas costeras tropicales, cerca de las regiones de manglares o grandes ríos (Stretta y Slepoukha, 1986; Ariz *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 1999). Además, muchas algas pardas pelágicas flotantes, del género *Sargassum*, con frecuencia dan cobijo a una amplia fauna asociada (Fine, 1970; Bortone *et al.*, 1977; Moreno *et al.*, 1998). En este sentido, Fedoryako (1989) encontró que la mayor diversidad de especies de peces estaba asociada con estas macrófitas flotantes (75% de todas las especies registradas) o a material terrestre (78% de todas las especies registradas). En la actualidad, los troncos y ramas de árboles representan menos de la mitad del número total de objetos flotantes encontrados por los pescadores (e.g. el 48% en el Océano Pacífico Oriental -Hall *et al.*, 1999). Es decir, la mayoría de los objetos flotantes a la deriva resultan como consecuencia de las actividades humanas (tablones, pallets y otros residuos industriales, redes de pesca abandonadas, boyas, etc.). Riera *et al.*

(1999) observaron que el 83,5% de los objetos flotantes en el Mediterráneo Occidental eran de origen antropogénico.

Durante mucho tiempo los pescadores han construido y anclado objetos flotantes (Greenblatt, 1979; Matsumoto *et al.*, 1981; Kihara, 1981). Actualmente se permite que muchas de estas estructuras deriven por el océano, equipadas con balizas transmisoras para facilitar su localización (algunos de ellos están equipados con ecosondas que transmiten información sobre la biomasa agregada en torno a los mismos) (Fig. 3.1). Como resultado de las mejoras introducidas en los DAPs por los pescadores, las zonas de pesca se han extendido de forma considerable (Fréon y Dagorn, 2000).

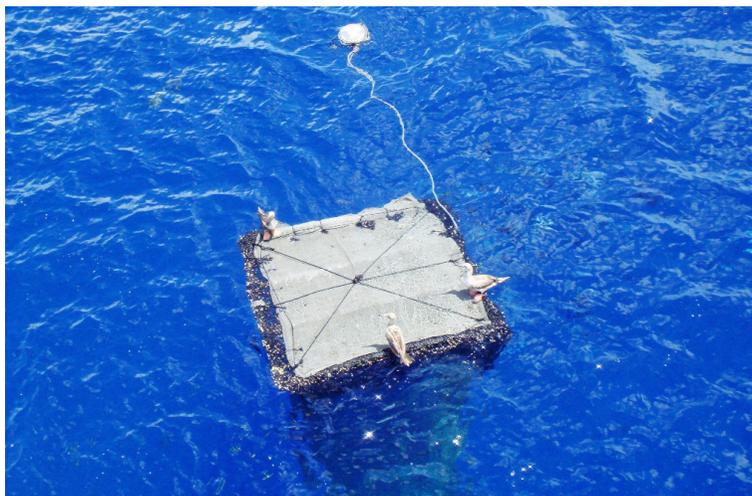


Figura 3.1. Dispositivo de agregación de peces unido a una radioboya que además de permitir su localización, transmite información sobre la biomasa de peces agregada bajo el mismo.

Los pescadores artesanales de los océanos Pacífico e Índico construyen estructuras flotantes, que son pequeñas balsas de bambú de las que cuelgan ramas o piezas antiguas redes y hojas de palmera que constituyen el volumen sumergido (van Pel, 1938; Marsac y Stequert, 1986; Biais y Taquet, 1990; Josse, 1992; Mathews *et al.*,

1996; Ibrahim *et al.*, 1996) (Fig. 3.2 A-B). En el Mar Mediterráneo, las balsas ancladas son de madera y bloques de corcho (o incluso botellas de plástico) en el que las ramas de los árboles son fijadas actuando como volumen sumergido (Massutí y Reñones, 1994; D'Anna *et al.*, 1999) (Fig. 3.2 C-D). Hoy en día, los FADs pueden ser fabricados para flotar (superficial) o para ser sumergidos (Fig. 1G). En todos los casos, por lo general, son muy simples, de bajo costo y los peces recolectados en los alrededores de ellos representan menos del 2% del total de las capturas (de Sylva, 1982; Castro *et al.*, 1999).

Además, debe tenerse en cuenta que los atunes, en sus desplazamientos, tienden a asociarse con delfines y otros animales de gran tamaño (por ejemplo, los tiburones ballena) (Hall, 1992; Fonteneau, 1992; Cayré *et al.*, 1991; Pereira, 1996). Estas observaciones sugieren que tal vez puede haber algún tipo de vínculo entre todas estas manifestaciones diferentes del mismo comportamiento y que no sean adaptaciones independientes (Fréon y Dagorn, 2000; Dempster y Taquet, 2004).

Las características físicas o estructurales de los objetos flotantes (tamaño, estructura, color, presencia de epibiontes, etc.) se piensa que juegan un papel importante en la atracción de los peces. Sin embargo, ninguna de las observaciones realizadas indican claramente qué característica particular puede explicar las diferencias con respecto a su capacidad de atraer peces (Wickham y Russell, 1974; Workman *et al.*, 1985; Bard *et al.*, 1985; Hall *et al.*, 1999). Por ejemplo, y a pesar de que inicialmente se pensó que, en general, la biomasa de peces era proporcional al tamaño de las balsas (Hunter y Mitchell, 1967; Rountree, 1989), a partir de un determinado tamaño en adelante (más de 1 m), no hay diferencias significativas (Fonteneau, 1992). Incluso, según nuestros datos, tampoco el volumen sumergido parece tener una influencia definitiva en este comportamiento.

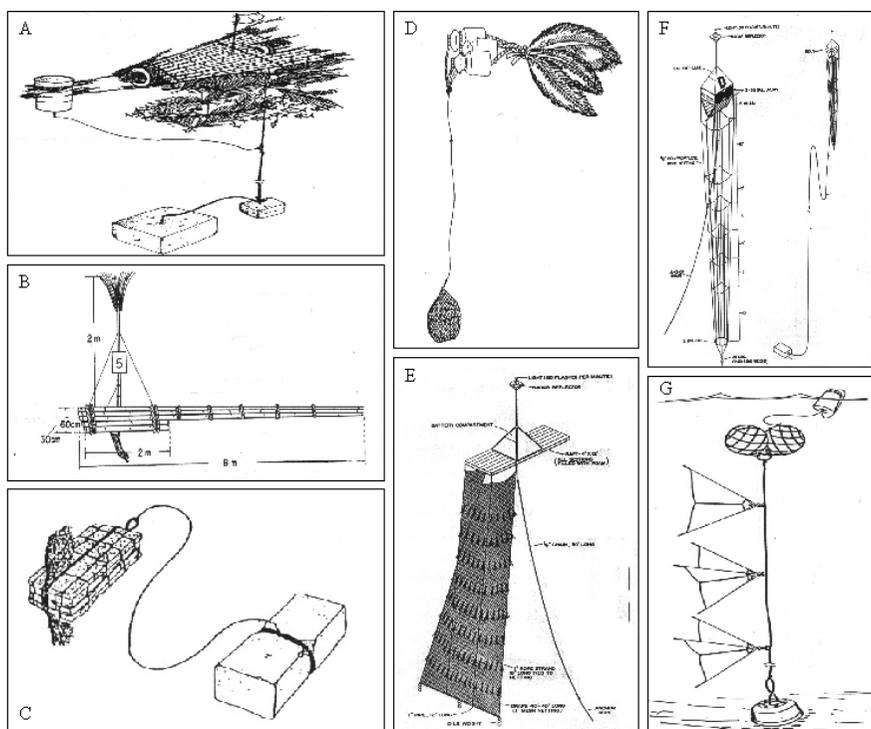


Figura 3.2. Diagramas de diferentes tipos de dispositivos de agregación de peces usados en diferentes partes del mundo. A: balsa denominada "Payao" utilizadas por los pescadores de túnidos en las islas de Filipinas (de Sylva, 1982); B: balsa de bambú conocida como "Tsukeyi" usada en Japón para capturar dorados (Kojima, 1956); C: DAP denominado "Capcer" utilizado en las Islas Baleares (Massutí y Reñones, 1994); D: "Cannizzi" construido con botellas de plástico y hojas de palmera utilizado por los pescadores de Sicilia (Potoschi, 1996); E y F: DAPs anclados utilizados en Hawaii, donde la balsa está construida con placas de madera rellenas con corcho de poliuretano y trozos de redes colgando a modo de cola (E) y DAP hecho con bidones metálicos rellenos con poliuretano y unidos con un marco de hierro (F). Ambos disponen de reflector de radar y luz de señalización (Marsumoto *et al.*, 1981); G: DAP comercial de la marca McIntosh Sea-kites fishing system (MacIntosh Marine, Inc. 621 Idelewyl Drive, FL, USA).

3.4.- ¿Por qué los peces se agregan cerca de objetos flotantes?

Existen varias hipótesis que se han manejado para explicar el comportamiento agregativo de diferentes especies de peces cerca de objetos flotantes (Tabla 3.1), y que probablemente todas ellas pueden ser utilizadas para explicar el comportamiento de una determinada especie. Dempster y Taquet (2004) hacen una revisión muy completa de las diferentes teorías e hipótesis emitidas hasta la fecha. La hipótesis más generalizada es que los peces usan materiales flotantes porque de alguna manera se benefician protegiéndose de los depredadores, o bien les proporcionan refugio, o bien una forma de camuflaje y mimetismo o algún otro mecanismo de interferencia ante la capacidad de un depredador para capturar a sus presas (Gooding and Magnuson, 1967; Hunter and Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Mitchell y Hunter, 1970; Feigenbaum *et al.* 1989; Rountree, 1989). La agregación motivada por factores tróficos es otra hipótesis (Gooding y Magnuson, 1967). Sin embargo, Ibrahim *et al.* (1996) proporcionan evidencia en contra de esta hipótesis

Hunter y Mitchell (1967) también sugieren que los objetos flotantes pueden funcionar como sustitutos de los fondos marinos para las especies que no se adaptan a la vida pelágica, así como para individuos en proceso de cambio del medio pelágico a otra forma de vida. En estas dos últimas situaciones, los objetos pueden proporcionar un estímulo visual en un medio óptico homogéneo, vacío (Hunter y Mitchell, 1967; Klima y Wickham, 1971).

Sin embargo, si se tiene en cuenta que la mayoría de especies de peces que se han encontrado agregadas a estructuras flotantes están en fase de postflexión o de juvenil (más del 80% de las especies registradas; véase la tabla 3.2), este comportamiento puede haberse desarrollado como un mecanismo de dispersión larvaria para aumentar la tasa de supervivencia de los juveniles en el medio pelágico (la hipótesis de la balsa indicada).

Tabla 3.1. Conjunto de hipótesis planteadas para explicar la motivación del comportamiento agregatorio de los peces alrededor de objetos flotantes.

Teoría	Referencias
1- Protección contra predadores.	Gooding y Magnuson, 1967; Hunter y Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Mitchell y Hunter, 1970; Feigenbaum <i>et al.</i> , 1989; Rountree, 1989; Castro <i>et al.</i> , 2002.
2- Disponibilidad de alimento.	Gooding y Magnuson, 1967
3- Punto de referencia para los peces.	Hunter y Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Klima y Wickham, 1971; Wickham y Russell, 1974; Holland <i>et al.</i> , 1990; Dempster y Taquet, 2004
4- Estímulo visual en un vacío óptico.	Hunter y Mitchell, 1967; Klima y Wickham, 1971; Dempster y Taquet, 2004
5- Punto de encuentro para reconstruir los cardúmenes.	Dagorn <i>et al.</i> , 1995; Freón y Dagorn, 2000
6- Compañeros de cardumen.	Hunter y Mitchell, 1967; Klima y Wickham, 1971.
7- Sustituto del fondo marino en especies no adaptadas a la vida pelágica.	Hunter y Mitchell, 1967
8- Respuesta a la sombra por el fototropismo negativo de los peces.	Gooding y Magnuson, 1967
9- Sustrato para la freza	Gooding y Magnuson, 1967
10- Estación de limpieza	Gooding y Magnuson, 1967
11- Área de descanso	Batalyants, 1993
12- Objeto flotante indicador	Hunter, 1968; Parker y Tunnicliffe, 1994; Kingsford, 1995; Tanaka y Oozeki, 1996; Castro <i>et al.</i> , 2002

El medio pelágico se caracteriza por su extensión, homogeneidad, falta de refugio y muy escasa disponibilidad de alimento. La mayoría de peces pelágicos forma cardúmenes como una estrategia para evitar a los depredadores, usando el grupo como un refugio, y también para aumentar la detección de alimentos (Pitcher y Parrish, 1993). Sin embargo, los cardúmenes formados por unos pocos individuos y los individuos de especies que no embancan, pueden desarrollar como estrategia efectiva para evitar los depredadores el buscar refugio debajo de un objeto a la deriva (Hunter y Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Feigenbaum *et al.* 1989). Esta búsqueda de protección parece ser más importante en las fases más vulnerables del desarrollo (postlarvas y juveniles).

Muchas especies han desarrollado coloración mimética (disruptiva) durante estas etapas con el fin de ser menos perceptibles entre las algas o bajo objetos flotantes a la deriva colonizados por cirrípodos. Hunter y Mitchell (1967) señalaron que el color del cuerpo de diferentes especies de peces que permanecen cerca de objetos a la deriva es más oscuro que el de las especies que se encuentran a una distancia mayor de los dispositivos o que se asocian de manera intermitente. Las especies que permanecen cerca de las estructuras son de color amarillo, naranja, marrón o negro (p. ej., *Abudefduf saxatilis*, *Psenes pacificus*, *P. Cyanophrys*, *Caranx* spp., *Blenniulus brevispinnis*, *Lobotes pacificus*, etc.), coincidiendo con los colores de las algas a la deriva (Hunter y Mitchell, 1967; Dooley, 1972). Los juveniles de muchas de las especies agregadas tienen varias barras verticales oscuras (a veces irregulares y discontinuas), en un fondo amarillento (e.g., *Seriola* spp., *Schedophilus ovalis*, etc.), que imita el color adquirido por el alga flotante, en torno a las que se agregan los juveniles de estas especies.

Los juveniles de *Kyphosus sectator* tienen muchas manchas blancas sobre un fondo oscuro, mimetizándose con los cirrípodos, y los patrones de luz y sombra generados por las algas cuando se observa desde la profundidad hacia la superficie. *Naucrates ductor* también tiene barras negras sobre un fondo plateado, que Murray y Hjort (1912) asociaron a una función mimética en relación con objetos a la deriva. Por lo general, cuando los juveniles de estas especies llegan a la fase adulta, y comienzan

a ser independientes del objeto flotante, el color mimético desaparece (*N. ductor* es una excepción a esta regla).

Las larvas y juveniles de muchas especies de peces son reclutados bajo objetos flotantes (tales como zooplancton gelatinoso, algas y objetos a la deriva) cuando estos objetos se encuentran en aguas costeras. El crecimiento de los peces se produce mientras derivan junto a estos objetos (Hunter y Mitchell, 1967; Kingsford, 1993, 1995), dentro de una masa de agua con características oceanográficas adecuadas (Shanks, 1983; Kingsford y Choat, 1986). Los sistemas sensoriales y motores de las larvas y juveniles les permiten responder a la estructura flotante y estar cerca de la misma (Marliave, 1986; Kingsford y Choat, 1989; Dempster y Taquet, 2004). Durante este período, las estructuras flotantes pueden actuar como un sustituto de un arrecife o de cualquier otro sustrato para los peces de hábitos no pelágicos, hasta que alcancen el tamaño necesario para integrarse en el hábitat de adultos (Kingsford y Choat, 1989).

La mayoría de los objetos a la deriva (e.g., las algas o las ramas de los árboles) son introducidos en el medio pelágico transportados por las corrientes marinas desde los lugares donde estos objetos son producidos (e.g., los estuarios de los ríos, manglares o zonas costeras). Por lo general, se supone que las corrientes marinas transportan la producción de plancton de las zonas donde se genera hacia las zonas oligotróficas, enriqueciendo así este último (Vinogradov, 1983; Hall, 1992; Binet y Marchal, 1993; Bakun, 1993; Rodríguez *et al.*, 1999; Barton *et al.*, 1998). La concentración de objetos a la deriva de origen biológico es frecuentemente intensificada por fenómenos oceanográficos, tales como convergencia de corrientes o zonas frontales (Hunter y Mitchell, 1967; Hall, 1992; Kingsford, 1993; Konev, 1993; Kingsford, 1995), y como Kingsford (1993) sugiere, una de las consecuencias de la presencia de estructuras derivantes en el océano, alterando y modificando el sistema pelágico natural, es la redistribución del alimento.

Por lo tanto, los peces agregados a estructuras flotantes a la deriva pueden obtener alimentos predando directamente sobre los invertebrados que habitan sobre

estos objetos, pero también pueden obtener ventaja al derivar dentro de zonas de convergencias donde se acumula el plancton (Nash *et al.*, 1987; Fedoryako, 1982; Hall, 1992; Kingsford, 1993). Y es aquí donde los datos obtenidos por Ibrahim *et al.* (1996) adquieren gran relevancia, al observar que los peces capturados bajo los DAPs no se alimentan de los organismos adheridos a los dispositivos sino de los organismos (fitoplancton y zooplancton) presentes en el agua. También el estudio de los contenidos estomacales de los peces que hemos capturados en aguas de Canaria bajo DAPs apuntan en esta misma dirección.

Por lo tanto, los objetos a la deriva pueden ser un vehículo para la dispersión de los huevos, larvas y juveniles hacia otras zonas (Hunter, 1968; Parker y Tunnicliffe, 1994; Kingsford, 1995; Tanaka y Oozeki, 1996), y una forma de aumentar las probabilidades de supervivencia en las primeras etapas de la vida. Esto puede explicar el comportamiento de cortejo/desove que hemos visto en el dorado junto a un DAP, y que también ha sido observado en otras especies cerca de objetos a la deriva por algunos autores (Hunter y Mitchell, 1968; Tanaka y Oozeki, 1996; Castro *et al.*, 1999), ya que un objeto flotante en el mar es sinónimo de deriva hacia áreas productivas, a través de una ruta con alta probabilidad de éxito.

Por esto mismo, el masivo uso de los DAPs en muchas pesquerías industriales orientadas a la captura de túnidos se puede convertir en una verdadera trampa ecológica, tal y como apuntan Marsac *et al.* (2002), ya que puede modificar las rutas migratorias y los patrones de dispersión al no llegar a áreas productivas, reduciendo las tasas de supervivencia de las especies que despliegan este comportamiento.

Tabla 3.2. Especies de peces que han sido, en algún momento, censada como agregadas/asociadas a estructuras flotantes a la deriva (algas, plancton gelatinoso, ballenas, maderos o FADs) (Hábitat: B=bentónico, D=demersal, P= pelágico, BP=bentopelágico, RA=arrecife; Fase desarrollo: E=huevos, L=larvas, J=juvenil, SA= subadulto, A=adulto; Comportamiento social: S= adulto solitario, Pa= adultos en parejas, G= adultos en grupo o cardúmenes; Tipo de objeto: o=objeto a la deriva , a=alga derivante, j=medusas o zooplancton gelatinoso, w= tortugas, tiburones, ballenas, delfines, cadáveres, etc., F=DAPs.)

FAMILIA Especie	Hábitat	Tipo de Dispositivo	Adulto o juvenil	En grupo o solitario	Referencia
CARCHARHINIDAE					
<i>Carcharhinus azureus</i>	D	o	A	S	59
<i>Carcharhinus falciformis</i>	BP	a,F	A	S	29, 125
<i>Carcharhinus limbatus</i>	RA	o	A	S	59
<i>Carcharhinus longimanus</i>	P	o,F	A	S	7,33,32,125
<i>Prionace glauca</i>	P	F	A	S	18
LAMNIDAE					
<i>Isurus sp.</i>	P	F	A	S	125
MOBULIDAE	P/RA	F	A	S/G	125
<i>Mobula hypostoma</i>	P	F	A	G	76

SPHYRNIDAE					
<i>Sphyrna</i> sp.	P/RA	F	A	S	124, 131
<i>Sphyrna lewini</i>	P	F	A	S	9
AMBASSIDAE					
<i>Ambassis</i> sp.	D	a	L/J	-	30
<i>Priopidichthys marianus</i>	D	o	L	-	30
<i>Velambassis jacksoniensis</i>	D	a	-	-	30
AMMODYTIDAE	D	o	J	G	69
ANOPLPOMATIDAE					
<i>Anoplopoma fimbria</i>	D	a	J	-	70,97
<i>Erilepis zonifer</i>	D	a	J	-	119
ANTENNARIIDAE					
<i>Histrio histrio</i>	P	a	J/A	S	1,14,29,30,33,35,118
APOGONIDAE	D	o	-	-	69
<i>Apogon imberbis</i>	D	o	J	G	114
ARRIPIDAE	P	a	J	G	69
ATHERINIDAE	P	o,a	L	G	30,69,70
BALISTIDAE					
<i>Balistes carolinensis</i>	D	o,a,F	J/A	S	14,18,26,27,28,29,91,98,108,114
<i>Balistes polylepis</i>	D	o	J	S	59

<i>Canthidermis macrocerus</i>	-	a	J	-	98
<i>Canthidermis maculatus</i>	P	a,o,F	J/A	G	14,29,32,33,59,79,80,82,96
<i>Canthidermis pullus</i>	-	a	J	-	98
<i>Canthidermis sufflamen</i>	RA	a,o,F	J/A	S	14,29,32,33,98,133
<i>Canthidermis villosus</i>	-	o	-	-	33
<i>Melichthys niger</i>	RA	F	J	-	133
<i>Xanthichthys ringens</i>	RA	a	J	S/G	29
BELONIDAE	P	o	J	G	30,69
<i>Tylosurus acus</i>	P	a	-	G	29
BLENNIDAE					
<i>Aspidontus filamentosus</i>	RA	o	-	S	33
<i>Dasson trossulus</i>	RA	a	J	-	30
<i>Aspidontus taeniatus</i>	-	da	-	S	33
<i>Gilloblennius spp.</i>	RA	a	L	S	30
<i>Hypsoblennius brevipinnis</i>	RA	o	J/A	S	59
<i>Hypsoblennius gentilis</i>	D	a	J/A	S	97
<i>Omobranchus anolius</i>	D	a	J	S	30
<i>Parablennius sanguinolentus</i>	D	o,F	J	S	27,28,114
<i>Parablennius tentacularis</i>	D	F	L/J	S	28

<i>Paralipophrys trigloides</i>	D	o	J	S	114
<i>Petroscirtes lupus</i>	D	a	J	S	30
<i>Scartella cristata</i>	D	F	J	S	27,28
BOTHIDAE	B	a	J	S	30
BREGMACEROTIDAE	BP	o	J	G	69
CALLIONYMIDAE	B	o	J	S	69
CAPROIDAE					
<i>Capros aper</i>	D	o	J	G	114
CARANGIDAE					
<i>Alectis crinutus</i>	RA	F	J	S	133
<i>Atule mate</i>	P	j,F	J	G	62,88
<i>Carangoides ferdau jordani</i>	P	j	J	G	88
<i>Caranx bartholomaei</i>	RA	a,j,F	J	G	9,14,29,33,35,98,117,118,122
<i>Caranx caballus</i>	P	o	J/A	G	33,59
<i>Caranx crysos</i>	RA	a,j,F	J	G	9,13,14,26,29,117,118,122
<i>Caranx djedaba</i>	RA	j	J	G	88
<i>Caranx hemiqymnostethus</i>	RA	F	A	G	79,82
<i>Caranx hippos</i>	BP	o,a,F	J	G	14,29,33,59,130
<i>Caranx latus</i>	RA	a,F	J	G	14,133
<i>Caranx melampygus</i>	P	j	J	G	88

<i>Caranx rhonchus</i>	BP	F	J	G	26
<i>Caranx ruber</i>	RA	a,F	J	G	9,29,33,94,98,117,118,122,130
<i>Caranx sexfasciatus</i>	P	o,F	J	G	32,33,59
<i>Chloroscobrus chrysurus</i>	D	j	J	G	14,88
<i>Decapterus macarellus</i>	P	a,o,F	J	G	9,29,33,133
<i>Decapterus maruadsi</i>	P	a,F	J/A	G	61,102
<i>Decapterus punctatus</i>	P	a,F	J/A	G	29,76,96,117,118,122,130,131
<i>Decapterus tabl</i>	P	a	J	G	29
<i>Elagatis bipinnulata</i>	P	o,a,F	J	G	9,14,29,32,33,80,96,122,125
<i>Lichia amia</i>	P	F	J	G	26
<i>Hemicaranx amblyrhynchus</i>	BP	j	J	G	88
<i>Megalaspis cordyla</i>	P	F	A	G	82
<i>Naucrates ductor</i>	RA	o,a,j,F	J/A	G/S	18,26,27,32,33,79,98
<i>Neptomenus crassus</i>	-	j	J	-	88
<i>Pantolabus radiatus</i>	P	j	J	-	88
<i>Pseudocaranx dentex</i>	RA	a,F	J	G	18,29,35
<i>Selar crumenophthalmus</i>	RA	o,a,F	J/A	G	9,11,29,33,35,59
<i>Selaroides leptolepis</i>	P	j	J	G	88
<i>Seriola aureovittata</i>	-	F	A	G	78,82

<i>Seriola carpenteri</i>	BP	F	J	S/G	18
<i>Seriola dorsalis</i>	-	a	J/A	S	36,96
<i>Seriola dumerilii</i>	RA	o,a,F	J/A	S/G	14,26,27,32,33,35,114,122
<i>Seriola fasciata</i>	D	a,F	J	S/G	14,29,91
<i>Seriola lalandi</i>	P	a,F	J/A	G	7,70,95
<i>Seriola purpurascens</i>	RA	F	J	G	79,82
<i>Seriola quinqueradiata</i>	D	a,F	J	G	33,79,82,119
<i>Seriola rivoliana</i>	RA	o,a,F	J/A	S/G	14,29,32,33,59,98
<i>Seriola zonata</i>	BP	a,j,F	J	-	14,29,63,88,98,118
<i>Trachurus declivis</i>	BP	j	J	G	88
<i>Trachurus japonicus</i>	D	a,j	J	G	33,119
<i>Trachurus lathami</i>	BP	j,F	J	G	29,33,88,118
<i>Trachurus novaezelandiae</i>	P	j	J	G	88
<i>Trachurus mediterraneus</i>	P	o,j,F	J	G	27,88,114
<i>Trachurus picturatus</i>	BP	o,F	J	G	18,27,108,114
<i>Trachurus symmetricus</i>	P	a,j	J/A	G	84,88,97
<i>Trachurus trachurus</i>	P	o,j,F	J	G	27,88,114
<i>Uraspis helvola</i>	BP	F	J/A	G	79,82
CENTRACANTHIDAE					
<i>Centrocanthus cirrus</i>	D	o,F	L,J	J	28,114

CENTROLOPHIDAE					
<i>Centrolophus niger</i>	BP	j,F	J/SA	S/G	27,28,88
<i>Centrolophus</i> sp.	BP	a	J	S/G	35
<i>Hyperoglyphe bythites</i>	P	a	J	S	35
<i>Hyperoglyphe japonica</i>	BP	a	J	S	119
<i>Hyperoglyphe perciformis</i>	P	o	J	S/G	69
<i>Icichthys lockingtoni</i>	P	j	J	S	88
<i>Schedophilus maculatus</i>	P	j	J	S	33,88
<i>Schedophilus medusophagus</i>	P	o,j	J	S	88,114
<i>Schedophilus ovalis</i>	D	o,j,F	J/SA	S	18,27,88,91,108,114
<i>Tubbia tasmanica</i>	D	j	J	S	88
CHANIDAE	-	o	J	G	69
CLINIDAE	RA	a	L	S	70
<i>Heterostichus rostratus</i>	D	o,a	J	S	57,97
CLUPEIDAE					
<i>Amblygaster sirm</i>	P	F	-	G	111
<i>Harengula jaguana</i>	P	F	J	G	76,122
<i>Hyperlophus vittatus</i>	P	o	L	G	30
<i>Sardinella aurita</i>	P	a,F	L/J/A	G	28,29,76,117,118,130,131

<i>Sardinella fimbriata</i>	P	F	-	G	25
<i>Sardinella gibbosa</i>	P	F	-	G	111
<i>Sardinops neopilchardus</i>	P	o	L	G	30
<i>Sardinops sagax</i>	P	a	J	G	70
<i>Spratelloides robustus</i>	P	a	L	G	30
CORYPHAENIDAE					
<i>Coryphaena equiselis</i>	P	o,F	J/A	G	18,32,33,59,79,82,94
<i>Coryphaena hippurus</i>	P	o,w,a,F	J/A	G	7,11,14,18,27,97,98,114
COTTIDAE					
	B/D	a,o	L	-	69,70
<i>Scorpaenichthys marmoratus</i>	D	a	J	S	97
CYCLOPTERIDAE					
	B/D	a	J	S	69
DACTYLOPTERIDAE					
	B/RA	o	J	S	30
DIODONTIDAE					
<i>Chilomycterus antennatus</i>	RA	a	J	S	14
<i>Chilomycterus schoepfi</i>	RA	a	J	S	14
<i>Diodon holocanthus</i>	RA	a	J	S	14,29
<i>Diodon hystrix</i>	RA	a,F	J	S	29,98,133
<i>Diodon sp.</i>	RA	a	J	S	33
ECHENEIDAE					
<i>Phtheichthys lineatus</i>	P	o,a	J	S	33,98

<i>Remora remora</i>	P	o	A	S/G	33
EMBIOTOCIDAE					97
<i>Brachyistius frenatus</i>	D	a	J	S/G	
EMMELICHTHYDAE	BP	a	J	G	69
ENGRAULIDAE					
<i>Engraulis australis</i>	P	a	J	G	30
<i>Engraulis encrasicolus</i>	P	F	L/J	G	27
<i>Engraulis japonicus</i>	P	a	J	G	119
EPHIPPIDAE					
<i>Chaetodipterus faber</i>	RA	F	J/A	G	117,118
EXOCOETIDAE					
<i>Cheilopogon heterurus</i>	P	a	E/J/A	S	29,33
<i>Cheilopogon furcatus</i>	P	a	-	S	29
<i>Cypselurus oligolepis</i>	P	o	-	S	33
<i>Cypselurus opisthopus</i>	P	o	J	S	33
<i>Cypselurus poecilopterus</i>	P	o	-	S	33
<i>Exocoetus obtusirostris</i>	P	a	-	-	29
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	RA	F	J	G	133
<i>Hemiramphus</i> sp.	P/RA	F	J	G	44

<i>Hirundichthys affinis</i>	P	a	-	G	29
<i>Parexocoetus brachypterus</i>	P	a,o	-	S	29,33
<i>Prognichthys brevispinis</i>	P	o	-	S	33
GADIDAE	BP/D	j	L/J	G	69
<i>Gadus macrocephalus</i>	D	j	J	G	88
<i>Gadus morhua</i>	BP	j	J	G	88
<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	D	j	J	G	88
<i>Merlangius merlangus</i>	BP	j	E/J	G	88
<i>Micromesistius potassou</i>	BP	F	L	G	91
GALAXIIDAE	D	a	J	-	69
GASTEROSTEIDAE					
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	BP	a	J	-	33,119
GEMPYLIDAE					
<i>Promethichtys prometheus</i>	BP	F	-	S	80
GERREIDAE					
<i>Gerres ovatus</i>	RA	a	L	G	30
GOBIESOCIDAE					
<i>Gobiesox eugrammus</i>	D	a	J	S	97
GOBIIDAE	B	o,a	L/J	S	30,69
GONOSTOMATIDAE	P	o	-	-	69

HAEMULIDAE	D	o	J	G	11
HEMIRAMPHIDAE					
<i>Hemiramphus balao</i>	RA	a	J	G	29
<i>Hemiramphus lutkei</i>	D	o	J	-	33
HEXAGRAMMIDAE					
<i>Hexagrammos agrammos</i>	D	a	J	-	33,119
HOLOCENTRIDAE	RA	o	J	S	69
<i>Sargocentron vexillarius</i>	D	a	J	S	14
INERMIDAE					
<i>Inermia vittata</i>	RA	F	-	G	133
ISTIOPHORIDAE	P	o	A	-	69
<i>Istiophorus platypterus</i>	P	F	A	G	131
<i>Makaira nigricans</i>	P	F	A	S	96
<i>Tetrapturus angustirostris</i>	P	F	A	-	96
<i>Tetrapturus audax</i>	P	F	A	G/S	96
KYPHOSIDAE					
<i>Girella nigricans</i>	D	j,o,a	J/A	G	8,88,97
<i>Girella punctata</i>	BP	a,F	J	G	33,79,80,82,119
<i>Kyphosus analogus</i>	BP	o	J	G	59

<i>Kyphosus cinerascens</i>	RA	o,F	J	G	33,99
<i>Kyphosus elegans</i>	BP	o	J	G	59
<i>Kyphosus incisor</i>	RA	a	JJ/A	G	98
<i>Kyphosus lembus</i>	RA	F	J	G	79,82
<i>Kyphosus sectator</i>	RA	a,o,F	J	G	18,29,32,33
<i>Kyphosus sp.</i>	RA	o	J	G	59
<i>Medialuna californiensis</i>	D	o,a	J/A	G	37,70,97
<i>Microcanthus strigatus</i>	RA	a	J	G	30
<i>Scorpius sp.</i>	D	a	J	G	30
<i>Sectator ocyurus</i>	P	o,F	J/A	G	58,59
LABRIDAE	RA	a,o	J	S/G	30,69
<i>Clepticus parrai</i>	RA	F	-	G	133
LOBOTIDAE					
<i>Lobotes surinamensis</i>	P	a,o,F	J/A	S	14,29,33,59,91,98,114
LOTIDAE					
<i>Brosme brosme</i>	D	j	J	S/G	88
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	D	o	J	-	114
LUTJANIDAE	-	o	-	-	69
<i>Lutjanus sp.</i>	-	F	J	-	118
<i>Lutjanus lutjanus</i>	RA	F	-	G	62

<i>Lutjanus sanguineus</i>	RA	F	-	-	62
<i>Ocyurus chrysurus</i>	RA	F	-	G	133
<i>Ocyurus japonicus</i>	-	F	-	-	82
<i>Rhomboplites aurorubens</i>	D	a	J	G	14
MACRORAMPHOCIDAE					
<i>Macrorhamphosus scolopax</i>	BP	j,F	J	G	28,33,88
<i>Macrorhamphosus</i> sp.	BP	a	J	G	29
MERLUCIIDAE					
<i>Merluccius bilinearis</i>	D	j	J	G	88
MICRODESMIDAE	D	o	J	D	69
MOLIDAE					
<i>Mola mola</i>	P	a	A	S	97
MONACANTHIDAE					
<i>Aluterus heudelotii</i>	D	a	J	-	14,29,98
<i>Aluterus monoceros</i>	RA	a,o,F	J/A	S	29,33,59,79,82,117,118
<i>Aluterus schoepfi</i>	D	a	J	S	14,29,98
<i>Aluterus scriptus</i>	RA	a,o,F	J/A	S	29,32,33,59,79
<i>Amanses howensis</i>	RA	F	A	S	82
<i>Cantherhines dummerli</i>	RA	o	J	S	33

<i>Cantherhines macrocerus</i>	RA	a	J	Pa	29
<i>Cantherhines pardalis</i>	RA	o	-	S	33
<i>Canthidermis pullus</i>	RA	a	J	-	29
<i>Monacanthus ciliatus</i>	RA	a	J	-	14,29,98
<i>Monacanthus</i> spp.	RA	a	-	-	98
<i>Monacanthus tuckeri</i>	RA	a	J	-	29,98
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	D	a,F	J	S,Pa	33,79,119
<i>Stephanolepis hispidus</i>	D	a,j,F	J/A	S,Pa	14,29,33,35,98,116,117,118,122,
<i>Stephanolepis setifer</i>	D	a	J/A	-	29
<i>Thamnaconus modestoides</i>	RA	a	J	-	119
MONODACTYLIDAE	P	o	J	G	30
MORIDAE	BP	a,j	-	-	69
MUGILIDAE					
<i>Agonostomus monticola</i>	P	o	L	S	59
<i>Liza argentea</i>	P	F	L	G	30
<i>Liza carinata</i>	P	a	J	-	119
<i>Mugil curema</i>	RA	a,o	L/J	G	29,59
MULLIDAE					
<i>Mullus auratus</i>	D	a	J	-	14
<i>Mullus surmuletus</i>	D	o,F	J	G	28,114

<i>Parupeneus signatus</i>	D	a	J	-	30
<i>Pseudopeneus grandisquamis</i>	D	o	J	-	59
<i>Pseudopeneus maculatus</i>	RA	a	J	-	14
<i>Upeneus parvus</i>	D	a	J	-	29
MURAENIDAE					
<i>Gymnothorax</i> sp.	RA	o	J	S	30
MYCTOPHIDAE	P	o	J	G	30,69
<i>Ceratoscopelus maderensis</i>	P	F	J	G	28
NEMIPTERIDAE	-	o	-	-	69
<i>Nemipterus peronii</i>	D	F	-	-	62
<i>Pentapodus setosus</i>	RA	F	-	-	62
NOMEIDAE					
<i>Cubiceps gracilis</i>	P	j	J/A	-	88
<i>Cubiceps</i> sp.	P	F	J	-	32
<i>Nomeus gronovi</i>	P	j	J	-	33,88
<i>Psenes arafurensis</i>	BP	j	J	-	88
<i>Psenes cyanophrys</i>	P	j,a,o,F	J/A	-	14,29,32,33,59,82,88,94
<i>Psenes maculatus</i>	P	j	J/A	-	88
<i>Psenes pellucidus</i>	BP	j,o	J	-	88,114

<i>Psenes whiteleggi</i>	BP	j	J	-	88
OPLEGNATHIDAE					
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	BP	a,F	J	-	33,79,82,119
<i>Oplegnathus punctatus</i>	RA	a,F	J	-	79,82,119
OSTRACIIDAE	D	o	J	S/G	69
<i>Lactophrys quadricornis</i>	-	F	-	-	133
<i>Lactophrys triqueter</i>	R/A	F	-	S/G	133
PHOLIDAE					
<i>Enedrias nebulosus</i>	BP	a	J	-	33,119
PHYCIDAE					
<i>Urophycis chuss</i>	D	j	J	G	88
<i>Urophycis floridana</i>	D	a	J	G	14
<i>Urophycis</i> sp.	-	j	J	G	88
PINGUIPEDIDAE	D	o	J	-	69
PLATACIDAE					
<i>Platax pinnatus</i>	RA	F	J	S	79,82
PLOTOSIDAE	D/RA	a	-	-	33,69
POLYNEMIDAE					
<i>Polydactylus approximans</i>	D	o	J	-	59
<i>Polydactylus opercularis</i>	D	o	J	-	59

POMACENTRIDAE					
<i>Abudefduf saxatilis</i>	RA	a,o	J	S	29,33,35,59,98
<i>Abudefduf taurus</i>	RA	a	J	S	35
<i>Abudefduf vaigiensis</i>	RA	a,F	J	S	30,79,82,102,119
<i>Chromis atrilobata</i>	RA	o	J	G	59
<i>Chromis chromis</i>	RA	F	L/J	G	27
<i>Chromis punctipinnis</i>	RA	a	L/J	S/G	69,97
POMATOMIDAE					
<i>Pomatomus saltator</i>	P	a	J	G	30
PRIACANTHIDAE					
<i>Pristigenys alta</i>	RA	a	J	S	14,29,98
RACHYCENTRIDAE					
<i>Rachycentron canadum</i>	RA	F	A	S	118,122,131
SCARIDAE					
<i>Leptoscarus vaigiensis</i>	RA	a	-	S/G	33
<i>Leptoscarus vaigiensis</i>	D	o	J	-	67
<i>Scarus guacamaia</i>	RA	F	-	S/G	133
SCOMBEROSOCIDAE					
<i>Cololabis saira</i>	P	a	E	G	119,124
<i>Scomberesox saurus</i>	P	o,F	J/A	G	28,114

SCOMBRIDAE					
<i>Acanthocybium solandri</i>	P	o,F	A	S	11,33,34,104
<i>Auxis rochei</i>	P	F	L	G	28
<i>Auxis thazard</i>	P	o,F	J/A	G	33,59,79,82,125
<i>Euthynnus affinis</i>	P	F	-	G	96
<i>Euthynnus alletteratus</i>	P	F	J/A	G	34,122,131
<i>Euthynnus lineatus</i>	P	w,o	J/A	G	47,59
<i>Katsuwonus pelamis</i>	P	w,o,F	J/A	G	11,16,18,19,32,33,107
<i>Rastrelliger kanagurta</i>	P	F	-	G	25
<i>Scomber australasicus</i>	P	o	J	G	30
<i>Scomber japonicus</i>	P	a,j,F	J	G	18,33,97,131
<i>Scomber scombrus</i>	P	F	J	G	27
<i>Scomberomorus cavalla</i>	D	a,F	J/A	G	14,118,131,133
<i>Scomberomorus maculatus</i>	P	F	J	G	122,131
<i>Scomberomorus regalis</i>	RA	F	-	G	9,34,131
<i>Thunnus alalunga</i>	P	a,o,F	L/J/A	G	18,28,36,125
<i>Thunnus albacares</i>	P	w,o,F	A	G	11,16,19,33,34,42,107
<i>Thunnus atlanticus</i>	P	F	-	G	34
<i>Thunnus obesus</i>	P	w,o,F	J/A	G	11,47,96,107,108,125
<i>Thunnus thynnus</i>	P	o,F	J/A	G	26,27,80,82,91,114

SCORPAENIDAE					
<i>Scorpaenichthys marmoratus</i>	B	a	J	S	70
<i>Sebastes caurinus</i>	B	o	-	S	53
<i>Sebastes diploproa</i>	B	a	L/J	S	70,97
<i>Sebastes inermis</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes nigrocinctus</i>	B	o	-	S	53
<i>Sebastes paucispinis</i>	RA	a	J	S	97
<i>Sebastes rubrivinctus</i>	B	a	J	S	97
<i>Sebastes schlegeli</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes serranoides</i>	RA	a	J	S	97
<i>Sebastes serriceps</i>	B	a	L/J	S	70,97
<i>Sebastes taczanowski</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes thompsoni</i>	B	a	J	S	101,119
<i>Sebastes vulpes</i>	B	a	J	S	119
SERRANIDAE					
<i>Ephinephelus areolatus</i>	RA	F	-	S	62
<i>Paralabrax clathratus</i>	BP	a	L/J	-	70,97
<i>Polyprion americanus</i>	D	o,F	J/SA	S	27,91,108,114
SILLAGINIDAE					

<i>Sillago ciliata</i>	D	a	L	G	30
SPARIDAE					
<i>Acanthopagrus australis</i>	RA	a,j	L	G	30
<i>Boops boops</i>	D	F	J	G	18
<i>Diplodus puntazzo</i>	BP	o	J	G	114
<i>Pagellus acarne</i>	BP	o	J	G	114
<i>Pagellus bogaraveo</i>	BP	F	L/J	G	27,91
<i>Pagrus pagrus</i>	RA	o	J	S/G	114
<i>Rhabdosargus sarba</i>	D	a,j	L	-	30
SPHYRAENIDAE					
<i>Sphyraena</i> sp.	RA	a,o	J	G/S	30
<i>Sphyraena argenteaa</i>	P	F	-	G	96
<i>Sphyraena barracuda</i>	RA	F	A	G/S	9,32,34,122,131,133
<i>Sphyraena genia</i>	-	F	A	-	9
<i>Sphyraena viridensis</i>	RA	F	J	G	18
STROMATEIDAE					
<i>Peprilus alepidotus</i>	P	j	J	G	88
<i>Peprilus simillimus</i>	P	j	J	G	88
<i>Peprilus triacanthus</i>	P	j	J	G	88
<i>Stromateus fiotola</i>	P	j	J	G	88

SYNGNATHIDAE	RA	a,o	J	S/Pa	69,70
<i>Hippocampus erectus</i>	RA	a	A	S	14
<i>Oostethus lineatus</i>	-	a	-	S	14
<i>Syngnathus californiensis</i>	D	a	A	S	97
<i>Syngnathus floridae</i>	D	a	A	S	29
<i>Syngnathus louisianae</i>	D	a	A	S	14,29
<i>Syngnathus pelagicus</i>	P	a	A	S	14,29,33,35
<i>Syngnathus schlegeli</i>	D	a	J	S	14,33,119
<i>Syngnathus springeri</i>	D	a	J/A	S	14
<i>Syngnathus</i> sp.	-	a	-	S	70
<i>Syngnathus typhle</i>	D	o	J	S	114
<i>Stigmatopora argus</i>	-	a	J	S	30
TERAPONTIDAE					
<i>Pelates quadrilineatus</i>	P	a	J	-	30
<i>Terapon theraps</i>	D	o	J	-	33
TETRADONTIDAE					
<i>Arothron firmamentum</i>	P	a	-	-	102
<i>Sphoeroides</i> sp.	D	a	-	S	29
TETRAGONURIDAE					

<i>Tetragonurus atlanticus</i>	P	j	J	-	88
<i>Tetragonurus cuvieri</i>	P	j	J	G	88
TRIGLIDAE	D	o	J	-	30
TRIPTERYGIIDAE	RA	a,o	J	-	30,69
XIPHIIDAE					
<i>Xiphias gladius</i>	P	a,F	-	S	29,125
ZAPRORIDAE					
<i>Zaprora silenus</i>	D	j	J	-	88

3.5.- ¿Por qué los peces se asocian a objetos flotantes?

La ictiofauna asociada con estructuras flotantes son principalmente especies migratorias, principalmente atunes y dorados (Dempster y Taquet, 2004). Estas especies se mantienen en las inmediaciones de las balsas durante horas o días (Holland *et al.*, 1990; Cayré, 1991; Fréon and Dagorn, 2000), y no muestran una estricta dependencia con las estructuras flotantes. Las razones que motivan la asociación de varias especies de peces a estructuras flotantes pueden ser de naturaleza diversa y han habido muchas hipótesis acerca de ellas (Hunter y Mitchell, 1967; Hunter, 1968; Klima y Wickham, 1971; Wickham y Russell, 1974; Holland *et al.*, 1990, etc.). Todas estas hipótesis pueden ser incluidas dentro de la "hipótesis del punto de encuentro" (Dagorn *et al.*, 1995; Fréon y Misund, 1999; Dagorn y Fréon, 1999; Fréon y Dagorn, 2000) que sugiere que los objetos flotantes actúan como referencias geográficas que ayudan a los túnidos a reconstruir grandes cardúmenes (posiblemente localizables a través de los sonidos que estos producen - Ghazali *et al.*, 2013).

Sin embargo, Fréon y Dagorn (2000) han propuesto recientemente la hipótesis del punto de encuentro como una explicación general para el fenómeno de la agregación y la asociación de peces a estos objetos flotantes, a pesar del hecho de que las especies que forman cardúmenes en la etapa adulta representan menos del 10% de las especies registradas en el entorno de los DAPs (Tabla 3.2). Por lo tanto, esta parece ser una explicación adecuada para un grupo en particular de especies, los atunes y similares, en lugar de una hipótesis general. Esta hipótesis considera que los atunes pueden hacer uso de los objetos flotantes para aumentar la tasa de encuentro entre individuos aislados o pequeños cardúmenes, como vía para reconstruir los grandes cardúmenes antes de iniciar nuevamente sus desplazamientos u otros cardúmenes diurnos. Esto se basa en la suposición de que el atún puede detectar objetos flotantes desde "mayores distancias" y que los objetos flotantes son menos numerosos que las cardúmenes de atún. Este podría ser un mecanismo para que peces aislados o pequeños cardúmenes, que se encuentran por debajo del "tamaño óptimo" (Sibly, 1983; Pitcher y Parrish, 1993), se puedan reunir y formar cardúmenes

más grandes. Fréon y Dagorn (2000) también amplían la hipótesis del "punto de encuentro" a las asociaciones de atunes con grandes cetáceos y tiburones ballena, que se mueven lentamente, pero también a asociaciones como DAPs anclados, estructuras submarinas (i.e. montes submarinos), y delfines (o incluso plataformas petrolíferas; Franks, 2000).

Por el contrario, Hunter y Mitchell (1970) y Wickham *et al.*, (1973) han sugerido que la atracción trófica que ejerce la biomasa de pequeños peces agregados bajo las estructuras flotantes puede ser otra razón para que los grandes peces se asocien momentáneamente a estos ecosistemas a la deriva. No obstante, es difícil de explicar cómo una reducida cantidad de pequeños peces puede alimentar a los grandes cardúmenes de atún que se pueden llegar a concentrar en torno a los DAPs (Fontenau, 1982). Sin embargo, no debemos descartar las consecuencias del comportamiento egoísta de cada individuo (Hamilton, 1971), que le motiva a buscar comida para sí mismo y que, a la larga, puede generar un efecto de bola de nieve.

En este sentido, Holland *et al.* (1990) señalan que los atunes que se alimentan en las cercanías de los DAPs muestran un menor peso corporal en comparación con los que habitan cerca de los arrecifes. Esto se debió al hecho de que la cantidad de alimento disponible en las inmediaciones de los DAPs es mucho menor que el disponible en los arrecifes. La proporción de individuos con estómagos vacíos o que contienen poca comida fue significativamente mayor en los peces capturados alrededor de los DAPs que en los peces capturados a distancias mayores de los dispositivos (Brock, 1985). Por otra parte, los resultados de Batalyants (1993) parecen entrar en contradicción con esta última teoría, ya que los atunes capturados en los dispositivos flotantes presentaban estómagos llenos de peces y calamares que no se encuentran asociados a los DPAs. De hecho, Holland *et al.* (2003) observaron que los rabiles y patudos se alimentan principalmente de presas epipelágicas asociadas a capas intermedias o profundas relacionadas con la Capa de Reflexión Profunda (DSL), y que este patrón de alimentación es similar en atunes asociados a DAPs, a montes submarinos o no asociados a estructuras.

Esto sugiere que los atunes abandonan los DAPs para alimentarse durante la noche y al mediodía, y regresan a las proximidades de los DAPs en las primeras horas de la mañana y por la tarde. Fonteneau (1992) y Bataiyants (1993) también observaron que el contenido de los estómagos de atunes y otras especies capturadas cerca de los DAPs mostraban especies oceánicas de profundidades mayores a los que se encuentran en los DAPs. Del mismo modo, Holland *et al.* (1990) y Cayré (1991) observaron que el atún tiende a permanecer asociado a los DAPS durante el día (entre 50 y 250 m de profundidad), alejarse por la noche, y volver al día siguiente. Por ello, Fréon y Dagorn (2000) sugieren que el atún solamente podría beneficiarse del efecto de "punto de encuentro" cuando está estrechamente asociado con un objeto flotante, y se beneficiaría del efecto indicador solo cuando se alimenta a gran distancia de los DAPs. Aunque esto no coincide con lo observado por Jaquemet *et al.* (2011), ya que los atunes que se alimentan en torno a DAPs a la deriva suelen tener los estómagos vacíos.

Otro motivo (estrechamente relacionada con la teoría de la agregación de juveniles), que puede explicar la asociación de peces adultos a los objetos flotantes, es que las estructuras flotantes pueden actuar como indicadores de sitios óptimos de desove para la dispersión de los huevos hacia otros lugares (Hunter, 1968; Parker y Tunnicliffe, 1994; Kingsford, 1995; Tanaka y Oozeki, 1996). La hipótesis de que algunas especies de peces pueden utilizar objetos flotantes para depositar sus huevos probablemente fue propuesta por primera vez por Besednov (1960). Ha habido varias observaciones de comportamiento de cortejo/desove alrededor de las estructuras flotantes (Hunter y Mitchell, 1968; Castro *et al.*, 1999). También es común encontrar huevos de peces voladores y papardas del Pacífico (*Cololabis saira*) pegados por filamento a los objetos flotantes (Oxenford *et al.*, 1993; Tanaka y Oozeki, 1996), así como se han obtenido larvas de 32 especies en mayor abundancia en torno a los DAPs que en aguas abiertas (Kingsford, 1992, 1993; 1995; Kingsford y Choat, 1989). Por otra parte, como hemos explicado anteriormente, si las masas de agua que transportan las balsas también transportan alimentos disponibles para las futuras larvas y juveniles de peces en sus cercanías (Barton *et al.*, 1998), los peces adultos buscan los objetos flotantes porque son sinónimo de áreas de alimentación ricas.

Al igual que en el caso de las especies agregadas, el masivo uso de DAPs a la deriva en múltiples pesquerías oceánicas puede actuar, a corto o medio plazo, como una trampa ecológica para estas especies asociadas (Marsac *et al.*, 2000; Fonteneau *et al.*, 2000; Essington *et al.*, 2002), modificando sus rutas migratorias. En el caso de los túnidos este efecto se puede acentuar al incidir estas pesquerías principalmente sobre las fases juveniles de las mismas (Dempster y Taquet, 2004).

3.6.- Especies de peces agregadas/asociadas bajo objetos flotantes

La abundancia de especies de peces encontradas debajo o en los alrededores de los objetos flotantes es un orden de magnitud mayor, o incluso más, de las que se encuentran en volúmenes similares en el océano abierto (Kingsford, 1992; Druce y Kingsford, 1995). Aunque ha sido la significativa presencia de atunes y dorados lo que ha motivado el desarrollo de dispositivos de concentración de peces y su uso en la pesca industrial y recreativa (Wickham *et al.*, 1973; Holland *et al.*, 1990; Cayré *et al.*, 1991; Hall y García, 1992; Fréon y Dagorn, 2000), en términos de diversidad, no hay duda de que las especies de la familia Carangidae son las que con mayor frecuencia se encuentran agregadas/asociadas a objetos flotantes (los carángidos representan un 14,4 % de las especies registradas entorno a los DPAs, mientras que los escómbridos, marlines y dorados juntos sólo representan el 7,5 % del total; Tabla 3.2). Además de los carángidos, las especies más representativas de la fauna de este tipo de ecosistemas errantes son las pertenecientes a la familia Scombridae, Sphyraenidae, Mugilidae, Monacanthidae y Balistidae (Kingsford, 1993; Druce y Kingsford, 1995). Mientras que los juveniles de carángidos, monacántidos y balístidos pueden considerarse la ictiofauna típica de agregación, los túnidos y dorados son representativos típicos de la ictiofauna asociada.

En la literatura, hemos encontrado registros de 333 especies de peces, pertenecientes a 96 familias (Castro *et al.*, 2002), que en algún momento pueden estar agregadas o asociadas a estructuras flotantes (algas a la deriva, zooplancton gelatinoso, ballenas, ramas de árboles, basura o DAPs), aunque la mayoría (80%) de

ellas están presentes fundamentalmente en las etapas juveniles (Tabla 3.2). Sin embargo, según Kingsford (1993), suficientes evidencias de la presencia de estas especies sólo existen para menos de 20 de estas familias.

3.7.- Ritmos de agregación y asociación de la fauna de peces.

Aparentemente, el principal factor que establece la composición de la fauna de peces y su abundancia relativa es la estación del año (Lukens, 1981; Stephan y Lindquist, 1989; Fonteneau, 1992; Castro *et al.*, 1999), ya que ésta determina la sucesión de las especies: como resultado del proceso natural de reclutamiento de las diferentes especies y que regula la disponibilidad de juveniles en cada región (Rountree, 1990; Castro *et al.*, 1999; Deudero *et al.*, 1999). Estos cambios estacionales también se observan en los arrecifes artificiales, donde las sucesiones estacionales de las especies se producen con frecuencia (Lindquist *et al.*, 1995; Castro *et al.*, 2010).

Las estructuras flotantes pasan por un proceso de maduración. Los dispositivos flotantes más antiguos tienen una mayor proporción del volumen sumergido colonizado por animales sésiles, como algas, hidozoos y cirrípedos, además de pequeños crustáceos (i.e., anfípodos y cangrejos) y, teóricamente, pueden sostener una mayor biomasa de peces. Sin embargo, ello no parece tener una gran influencia sobre la biomasa asociada o agregada, ya que el período de colonización de los DAPs por los peces es muy corto (desde unas pocas horas después de su instalación en el mar), y con anterioridad a que se haya establecido la fauna sésil. Kingsford (1992) y Druce y Kingsford (1995) observaron que las postlarvas y los juveniles de algunas especies (especialmente *Trachurus* sp.) fueron atraídos por las estructuras experimentales de algas después de 3 a 5 horas de estar a la deriva.

Bard *et al.* (1985) y Yu (1992) indicaron que la asociación de atunes a objetos flotantes a la deriva es muy rápida (de 30 a 50 horas después de colocado el DAP). Nosotros mismos hemos podido comprobar en repetidas ocasiones como los juveniles de *Pseudocaranx dentex* se agregan junto a buceadores en apnea en aguas someras. No obstante, la diversidad de especies de peces se incrementa con el tiempo que una

estructura a la deriva está disponible (Moser *et al.*, 1998). Este proceso también se ha observado para los DAPs anclados (Castro *et al.* 1999).

Es probable que la duración del período previo a que tenga lugar la colonización esté estrechamente relacionada con la ubicación geográfica de los dispositivos (Gooding y Magnuson, 1967; Hunter, 1968; Wickham *et al.*, 1973; Workman *et al.*, 1985). La localización de los DAPs influye en gran medida en la abundancia y la diversidad de especies de peces que se agregan alrededor de ellos. El máximo de diversidad de peces y abundancia se registra cuando los dispositivos están situados cerca de un arrecife natural (Hammond *et al.*, 1977; Workman *et al.*, 1985; Beets, 1989), debido a que algunas especies asociadas hacen incursiones entre el arrecife y las balsas. La distancia a la costa también influye en las especies y en la biomasa agregada/asociada, así como en el número de peces capturados en los dispositivos flotantes, encontrándose más especies y juveniles de peces alrededor de los DAPs en alta mar (Wickham *et al.*, 1973; Bortone *et al.*, 1977; Feigenbaum *et al.*, 1989; Castro *et al.*, 1999).

El intervalo de tiempo que un pez pasa de manera continua bajo una estructura flotante (residencia) es otro motivo de controversia. Hunter y Mitchell (1968), Hunter (1968) y Mitchell y Hunter (1970) observaron que los peces pueden agregarse alrededor de las estructuras a la deriva o ancladas de 8 a 32 días consecutivos o más, desplazándose cada vez más lejos de su área o rango de distribución mientras acompañan a la estructura a la deriva. Castro *et al.* (1999), usando grabaciones de vídeo, registraron una pareja de juveniles de *Kyphosus sectator* y otra de subadultos de *Schendophilus ovalis* que residieron bajo un FADs durante 4 y 2 meses, respectivamente. Esto también es relevante para peces pelágicos como *Coryphaena* spp. Según Kingsford y DeFries (1999) los individuos pueden permanecer en torno a un único DAP desde horas a días. El tiempo de residencia de los atunes en torno a DAPs anclados parece ser muy variable: desde unos pocos minutos hasta unos pocos días (Hunter y Mitchell, 1968; Brock, 1985; Holland *et al.*, 1990; Cayré, 1991).

En este sentido, Ohta y Kakuma (2005) y Robert *et al.* (2012) observaron que la talla de los atunes determinaba el tiempo de permanencia en torno a los DAPs, de modo que los rabiles y patudos más pequeños permanecían hasta 2,5 veces más de tiempo que los individuos de talla ligeramente mayor. Es decir, en general, existe una relación inversa entre la talla y el tiempo de permanencia en torno a los DAPs (Robert *et al.*, 2012).

Los estudios sobre el tiempo de residencia de los peces han sido realizados generalmente en torno a objetos flotantes anclados y, posiblemente, las conclusiones obtenidas a partir de ellos no se pueden extrapolar a los DAPs que se encuentran a la deriva. Varios estudios demuestran que la ictiofauna asociada a los DAPs no es en general residente, sino que los peces son diariamente reclutados a los dispositivos (Klima y Wickham, 1971; Wickham y Russell, 1974; Workman *et al.*, 1985). Holland *et al.* (1990) y Cayré (1991) demostraron que los atunes tienen la capacidad de orientarse y ser reclutados cada mañana bajo el mismo DAP, el cual actúa como un punto de referencia para los peces. Klimley y Holloway (1999) observaron que casi siempre llegan en el mismo período del día a un DAP. Al amanecer, atardecer y durante la noche, sólo se observaron unos pocos peces (Workman *et al.*, 1985). Hong *et al.* (1996, 1997), utilizando tanques experimentales al aire libre y DAPs modelos, observaron que los juveniles de *Trachurus japonicus* y *Seriola quinqueradiata* no se agregaban bajo los dispositivos durante la noche. Sin embargo, estas observaciones deben ser tratadas con cautela, dada la dificultad de transferir los resultados obtenidos en el laboratorio a las condiciones naturales del mar.

Sin embargo, si los peces agregados no están permanentemente reclutados a la balsa, ¿cómo pueden los peces pequeños (postlarvas y juveniles) ser capaces de volver al mismo objeto a la deriva? Parece lógico que, cuando el dispositivo se encuentra a la deriva, los juveniles se quedarán permanentemente reclutados a la balsa. En este sentido, Hunter y Mitchell (1967) observaron que la longitud media de los individuos de algunas especies aumentaba de manera proporcional con la distancia que separaba al objeto flotante de la costa, probablemente como consecuencia del crecimiento de los animales durante la deriva. Esta puede ser una característica

importante del comportamiento que diferencia a la fauna de peces agregados de la fauna de peces asociados.

3.8.- Generalización de la teoría.

Muchas especies de peces muestran un comportamiento agregativo/asociativo hacia objetos naturales o artificiales ubicados en la superficie del océano o semisumergidos (a la deriva o anclados). Las larvas y juveniles de muchas especies de peces son reclutados bajo objetos flotantes cuando estos se encuentran en las aguas costeras, y crecen mientras van a la deriva con estos objetos. Durante este período, las balsas pueden actuar como un sustituto de un arrecife o cualquier otro sustrato para los peces de hábitos no pelágicos, hasta que alcanzan un tamaño adecuado para incorporarse al hábitat de adultos.

La mayoría de los objetos a la deriva son introducidos en el medio pelágico y transportados por las corrientes marinas desde las zonas costeras, etc., lugar donde se genera la mayoría de los mismos (e.g. ramas de árboles y masas de algas). Se supone que las corrientes marinas transportan la producción planctónica desde las zonas neríticas, en las que se generan, hacia las zonas oligotróficas, enriqueciéndolas de esta forma. Las postlarvas y juveniles de peces agregados a estructuras flotantes a la deriva pueden beneficiarse de los movimientos de deriva hacia zonas de convergencias en donde se acumula el alimento planctónico. Por ello, las estructuras flotantes son utilizadas por algunas especies como indicadores de rutas favorables para la dispersión de huevos y larvas. Estos vehículos de dispersión de larvas y juveniles también ofrecen refugio, reduciendo así la eficacia de los ataques de depredadores, y la producción de alimentos más allá del plancton presente en la masa de agua.

Sin embargo, no todas las especies de peces que utilizan los objetos flotantes lo hacen con el objetivo de aumentar las tasas de supervivencia de sus larvas y alevines, y no todas las etapas del desarrollo de las distintas especies que usan las balsas tienen los mismos requerimientos. Así, los grandes peces migradores, como los atunes, por lo general pueden utilizar los objetos flotantes como referencias

geográficas o "puntos de encuentro" con el fin de aumentar la tasa encuentro entre individuos aislados, o de cardúmenes pequeños con otros cardúmenes, de coespecíficos y a partir de aquí formar o reconstruir grandes cardúmenes previo a continuar en sus rutas migratorias.

CONCLUSIONES

1. En la bibliografía hemos encontrado registros de 333 especies de peces, pertenecientes a 96 familias, que en algún momento pueden estar agregadas o asociadas a estructuras flotantes, aunque la mayoría de ellas (80%) están presentes fundamentalmente en las etapas juveniles.
2. La zona de influencia de los DAPs depende de la especie, de la fase de desarrollo y de talla de los peces. Como regla general se puede considerar que los individuos de pequeño tamaño se encuentran habitualmente muy cerca (en el rango de centímetros a pocos metros) de la estructura flotante, especialmente entre las estructuras que constituyen el volumen sumergido del DAP. Por otro lado, los peces de mayor tamaño se encuentran más alejados de las balsas, especialmente en el plano vertical, y nadan alrededor de ellas sin mostrar dependencia directa de las mismas.
3. Los dispositivos fondeados en aguas menos profundas mostraron una menor biomasa agregada y un número más reducido de especies, posiblemente porque los individuos encuentran fácilmente refugios alternativos en estructuras de los fondos cercanos.
4. La edad de los DAPs (tiempo transcurrido desde que el dispositivo fue fondeado) no tiene ningún efecto en la biomasa, aunque si en la diversidad de especies agregadas.
5. El principal factor que regula la composición de la ictiofauna y la abundancia fue la estación del año, la cual genera una sucesión de especies como consecuencia de los procesos naturales de reclutamiento en la región.
6. La mayoría de los objetos a la deriva son introducidos en el océano desde zonas costeras y transportados por las corrientes hacia áreas de convergencia. Por ello, estas estructuras son utilizadas por algunas especies como indicadores de rutas favorables para la dispersión, al ofrecer refugio y aumentar la probabilidad de supervivencia de sus juveniles. Sin embargo, no todas las especies utilizan los

dispositivos flotantes con este objetivo, sino como elementos de referencia que les ayudan a reestructurar sus cardúmenes a lo largo de sus rutas migratorias.

7. El uso masivo de DAPs en todos los océanos en las pesquerías de túnidos, es un sistema de pesca que contribuye de forma clara a la sobreexplotación de muchos de los stocks objetivos de las pesquerías, incidiendo principalmente sobre las fases juveniles de estas especies (e.g.: *Thunnus obesus*), pero también de las que son capturadas como parte del by-catch.

8. El uso de DAPs no enmallantes (aquellos que carecen de la cola de redes en su parte sumergida), reduce el enmallamiento de tiburones, tortugas y otras especies frecuentes en el by-catch, pero no así la capacidad de agregar peces bajo ellos.

9. En promedio, la captura de túnidos obtenidas por cerqueros sobre DAPs no enmallantes fue similar a la obtenida con dispositivos flotantes clásicos. Es decir, la falta de piezas de redes colgando del flotador en los dispositivos no enmallantes no parece que tenga efectos en la capacidad de agregar peces bajo ellos, funcionando de forma similar a los objetos de origen natural.

10. La presencia de los DAPs no implica un aumento de la abundancia de la especie en el ecosistema, solo un aumento local por agregación, ni una disminución del esfuerzo pesquero. El esfuerzo debe ser medido en otra unidad diferente a la utilizada cuando los objetos flotantes no están presentes, de forma que siga siendo proporcional a la mortalidad por pesca generada sobre las especies objetivo.

11. Los DAPs aprovechan la respuesta natural en el comportamiento de muchas especies para agregar peces bajo o alrededor de ellos y, por esta razón, no es posible reducir el by-catch de forma significativa en las pesquerías de cerco con DAPs. No se puede introducir ninguna característica específica que permita la atracción de las distintas especies de atunes hacia los DAPS, pero que no atraiga a sus fases juveniles u a otras especies no objetivo.

12. El uso masivo de DAPs en las pesquerías industriales oceánicas, fuera de las áreas donde estos dispositivos están presente de forma natural, puede modificar las rutas migratorias y patrones de dispersión de muchas especies, reduciendo la tasa de supervivencia al no llevarlos hasta áreas productivas. Estos pueden actuar como trampas ecológicas y acentuar el impacto de las pesquerías industriales con DAPs más allá del efecto de la sobrepesca de juveniles y de especies amenazadas.

REFERENCIAS

(LOS NÚMEROS ENTRE PARÉNTESIS AL FINAL DE ALGUNAS REFERENCIAS SE CORRESPONDEN CON LA NUMERACIÓN DE LAS REFERENCIAS DE LA TABLA 3.2)

- Adams, J.A. (1960). A contribution to the biology and postlarval development of the *Sargassum* fish, *Histrio histrio* (Linnaeus), with a discussion of the *Da* complex. *Bull. mar. Sci. Gulf Caribb.* 10:55-82. (1)
- Anderson, J. & Gates, P.D. (1997). Manuel de la Commission du Pacifique Sud les dispositifs de concentration de poissons (DCP). Programme pêche côtière, section techniques de pêche. *Planification de programmes DCP*, Vol. 1, 46 pp.
- Amandè, M.J., Ariz, J.A., Chassot, E., Delgado de Molina, A., Gaertner, D., Murua, H., Pianet, R., Ruiz, J. & Chavance, P. (2010). Bycatch of the European purse seine tuna fishery in the Atlantic Ocean for the 2003-2007 period. *Aquat. Living Resour.* 23(4):353-362.
- Amandè, M.J., Chassot, E., Chavance, P., Murua, H., Delgado de Molina, A. & Nicolas-Bez, N. (2012). Precision in by-catch estimates: the case of tuna purse-seine fisheries in the Indian Ocean. *ICES J. Mar. Sci.*; doi:10.1093/icesjms/fss106.; 10 pp.
- Anderson, J. & Gates, P.D. (1996). *South Pacific Commission fish aggregating device (FAD)*. Vol. I: Planning FAD Programmes. Noumea, *New Caledonia: South Pacific Commission*, 7:1-46.
- Anonymous (1993). By-catch and discards in western Pacific tuna fisheries: a review of SPC data holdings and literature. STANDING COMMITTEE ON TUNA AND BILLFISH. Pohnpei, Federated States of Micronesia, 16-18 June 1993. WORKING PAPER 8 (DRAFT). Tuna and Billfish Assessment Programme. *South Pacific Commission*.
- Arenas, P., Hall, M. and García, M. (1992). The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. VI. Association of fauna with floating objects in the EPO. *In: International workshop on fishing for tunas associated with floating objects*. (11-14 February 1992. La Jolla, California): 38 pp.
- Ariz, J., Santana, J.C., Delgado de Molina, A. & Delgado de Molina, R. (1995). Estudio de la modalidad de pesca sobre "manchas" de túnidos en las Islas Canarias. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 44(2): 262-271.

- Ariz, J., Delgado de Molina, A., Fonteneau, A., Gonzales Costas, F. & Pallarès, P. (1999) Logs and tunas in the eastern tropical Atlantic: A review of present knowledge and uncertainties. In Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E., and Schaefer, K.M. (eds.) *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11-13, 1992, Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report **11**, La Jolla, California, pp 21-65.
- Baker, A. (1970). The vertical distribution of euphausiids near Fuerteventura, Canary Islands (Discovery SOND Cruise, 1965). *J. Mar. Biol. Ass., U.K.*, 50:301-342.
- Bakun, A. (1993). The California Current, Benguela Current, and Southwestern Atlantic Shelf ecosystems: A comparative approach to indentifying factors regulating biomass yields. In: *Large Marine Ecosystems. Stress, mitigation, and sustainability*. Sherman, K., L.M. Alexander and B.D. Gold. (eds.). AAAS Press. Washington. Pp: 199-221.
- Bard, F.X., Stretta, J.M., & Slepoukha, M. (1985) Les épaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique: quel avenir?. *Pêche Marit.* 1291:655-659.
- Barton, E. D. , Aristeguí, J. , Tett, P. , Cantón, M. , García-Braun, J. , Hernández-León, S. , Nykjaer, L. , Almeida, C. , Almunia, J. , Ballesteros, S. , Basterretxea, G. , Escanez, J. , García-Weill, L. , Hernández-Guerra, A. , López-Laatzén , F. , Molina, R. , Montero, M. F. , Navarro-Pérez , E. , Rodríguez, J. M. , Van Lenning, K. , Vélez, H. & Wild, K. (1998). la zona de transición entre el sistema corriente de las Canarias afloramiento. *Prog. Oceanogr.*, 41 (4), 455-504. (6)
- Bas, C., J.J. Castro, V. Hernández-García, J.M. Lorenzo, T. Moreno, J.G. Pajuelo y A.G. Ramos (1995). *La pesca en Canarias y áreas de influencia*. Ediciones del Cabildo Insular de Gran Canaria, Madrid. 331 pp.
- Batalyants, K.Ya. (1993). On the hypothesis of comfortability stipulation of tuna association with natural and artificial floating objects (SCRS/92/45). *ICCAT Coll. Doc. Sci.* 40(2):447-453. (7)
- Bannerman, P., Pallarés, P. & Kebe, P. (2005). Improvements in the Ghanaian Tuna Statistics Collection System. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 57(1): 129-136.
- Beets, J. (1989). Experimental evaluation of fish recruitment to combinations of fish aggregating devices and benthic artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.* 44(2): 973-983. (9)
- Besednov, L.N. (1960). Some data on the ichthyofauna of the Pacific Ocean drift object. *Trudy Inst. Okeanol.* 41, 192-197.

- Bergstrom, M. (1983) Review of experiences with and present knowledge about fish aggregating devices. Bay of Bengal Programme, Development of Small-Scale Fisheries. *FAO report BOBP/WP/23*, 57 pp.
- Beverly, S., Griffiths, D. & Lee, R. (2012). Anchored fish aggregating devices for artisanal fisheries in South and Southeast Asia: benefits and risks. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. *RAP Publication*, 20:1-4.
- Biais, G., & Taquet, M. (1990) Dispositifs de concentration de poissons a la Reunion. *Equinoxe* 34:20-26 **(11)**
- Binet, D. & Marchal, E. (1993). The large marine ecosystem of shelf areas in the Gulf of Guinea: Long-term variability induced by climatic changes. In: *Large Marine Ecosystems. Stress, mitigation, and sustainability*. Sherman, K., L.M. Alexander and B.D. Gold. (eds.). AAAS Press. Washington. Pp. 104-118.
- Bohnsack, J.A. & Bannerot, S.P. (1986). A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes. *NOAA Technical Report NMFS 41*. US. Department of Commerce. 15 pp.
- Bortone, S.A., Hastings, P.A. & Collard, S.B. (1977). The pelagic-*Sargassum* ichthyofauna of the Eastern Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science*, 1(2):60-67. **(14)**
- Bortone, S.A. & Bohnsack, J.A. (1991). Sampling and studying fish on artificial reefs. Chap. 7, pages 39-51, In: J.G. Halusky (ed.). *Artificial Reef Research Diver's Handbook*. Technical Paper 63, *Florida Sea Grant College, University of Florida*, Gainesville.
- Bortone, S.A., Van-Tassell, J., Brito, A., Falcon, J.M., Mena, J. & Bundrick, C.M. (1994). Enhancement of the nearshore fish assemblage in the Canary Islands with artificial habitats. *Bull. Mar. Sci.*, 55(2-3):602-608.
- Boyra, A., Sánchez-Jerez, P., Tuya, F., Espino, F., & Haroun, R. (2004). Attraction of wild coastal fishes to Atlantic subtropical cage fish farms, Gran Canaria, Canary Islands. *Env. Biol. Fish.*, 70(4):393-401.
- Brill, R.W., Holland, K.N., & Ferguson, J.S. (1984). Use of ultrasonic telemetry to determine the short-term movements and residence times of tunas around fish aggregating devices. Proceedings of the Pacific Congress on Marine Technology, Honolulu, Hawaii, April 24-27, 1984. Marine Technology Soc., Manoa, HI USA. Hawaii Sect 1984. pp. MRM1/1-7.

- Brock, R. E. (1985). Preliminary study of the feeding habits of pelagic fish around hawaiian fish aggregation devices or can fad enhance local fisheries productivity?. *Bull. Mar. Sci.* **37**(1): 40-49.
- Bromhead, D., Foster, J., Attard, R., Findlay, J., & Kalish, J. (2003). A review of the impact of fish aggregating devices (FADs) on tuna fisheries: final report to Fisheries Resources Research Fund. Fisheries and Marine Sciences Program, Bureau of Rural Sciences (BRS), Commonwealth Department of Agriculture, Fisheries and Forestry – Australia.
- Buckley, R.M., Itano, D.G., & Buckley, T.W. (1989). Fish aggregation device (FAD) enhancement of offshore fisheries in American Samoa. *Bull.Mar.Sci.* **44**(2):942-949. **(16)**
- Buckley, T.W., & 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.
- Castro, J.J, Santiago, J.A., & Hernández-García, V. (1999) Fish associated with fish aggregation devices off the Canary Islands (Central-East Atlantic). *In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.). Biology and fishery of dolphinfish and related species. Sci. Mar.* **63**(3-4):191-198. **(18)**
- Castro, J.J., Santiago, J.A. & Santana-Ortega, A.T. (2002). A general theory on fish aggregation to floating objects. An alternative to meeting point hypothesis. *Rev. Fish Biol. Fish.*, **11**:255-277
- Castro, J.J., Hernández-García, V., Castro-Arbelo, D., Betancor, A., Hernández, M.A. (2010). Seguimiento científico de los sistemas de arrecifes artificiales ubicados en el litoral de las Islas de Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria y La Palma (2010). *Inf. Tec. Viceconsejería de Pesca.* Gobierno de Canarias.
- Cayré, P. (1991). Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in de Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. *Aquat. Living Resour.* **4**:1-12. **(19)**
- Cayré, P., & Marsac, F. (1991). Report and preliminary results of the tagging programme of natural drift logs in the tuna purse seine fishery area of the Western Indian Ocean (SEAC/90/18). Collective volume of working documents presented at the 4th Southeast Asian Tuna Conference held in Bangkok, Thailand, 27-30 November 1990. pp: 125-133.
- Cayré, P., Kothias, J.B., Diouf, T., and Stretta, J.M. (1991). Biología de los atunes. *ICCAT Coll. Doc. Sci.* **37**:169-291.
- Chassot E., Floch, L., Dewals, P., Pianet, R., & Chavance, P. (2011). Statistics of the French purse seine fleet targeting tropical tunas in the Indian Ocean (1991-

- 2010). Indian Ocean Tuna Commission document, IOTC-2011-WPTT-20, 31 p.
- Clifford, H.T., & Stephenson, W. (1975). *An introduction to numerical classification*. Academic Press. 229 + xii pp. New York.
- Cohen, J.H. & Forward, R.B.JR. (2002). Spectral sensitivity of vertically migrating marine copepods. *Biol. Bull.* 203: 307–314.
- Cort, J.L. (1990). *Biología y pesca del atún rojo, Thunnus thynnus (L.), del mar Cantábrico*. (Publ. Espc. Inst. Esp. Oceanogr.). 4:272 pp. MAPA. Madrid, España.
- Corral-Estrada, J. & Genicio de Corral, M.F. (1970). Nota sobre el plancton de la costa noroccidental africana. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, Nº 155
- Couce-Montero, L. (2015). *Diagnosis de la pesquería artesanal en la isla de Gran Canaria*. Memoria Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Cuaches, C.M. (1991). *Métodos de análisis multivariate*. Ed. PPV. Barcelona.
- Dagorn, L., & 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.
- Dagorn, L., Stretta, J.M., & Petit, M. (1995). Etude théorique du phénomène d'aggregation des bancs de thons sous les objets flottants à partir d'un modèle de comportement grégaire des thons (SCRS/94/144). *ICCAT. Coll. Doc. Sci.* 44(3):295-307.
- Dagorn, L., Holland, K.N., Restrepo, V & Moreno, G. (2013). Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems? *Fish Fish.*, 14:391-415.
- D'Anna, G., Badalamenti, F., & Riggio, S. (1999). Traditional and experimental floating fish aggregating devices in the Gulf of Castellammare (NW Sicily): results from catches and visual observations. In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.). *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* 63(3-4):209-218. **(26)**
- Davenport, J. (1992). Observations on the ecology, behaviour, swimming mechanism and energetics of the neustonic grapsid crab, *Planes minutus*". *J. Mar. Biol. Ass.UK.*, 72 (3): 611–620.

- Davies, T.K., Mees, C.C. & Melner-Gulland, E.J. (2014). The past, present and future use of drifting fish aggregating devices (FADs) in the Indian Ocean. *Mar. Pol.*, 45:163-170.
- Davison, M.L. (1983). *Multidimensional scaling*. Krieger Publishing Co.
- DeMartini E.E & Roberts D. (1982). An empirical test of the biases in the rapid visual technique for species-time census of reef fish assemblages. *Mar. Biol.*, 70:129-134
- de San, M. (1982) Fish aggregation devices or Payaos. South Pacific Commission 14th Regional Technical Meeting of Fisheries. 14/WP.1.5. Noumea, New Caledonia. 26 pp.
- de Sylva, D.P. (1982) Potential for increasing artisanal fisheries production from floating artificial habitats in the Caribbean. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.* 34: 156-167. **(25)**
- Delgado de Molina, A., Delgado de Molina, R., Santana, J.C., & Ariz, J. (2012). Datos estadísticos de la pesquería de túnidos de las islas Canarias durante el periodo 1975 a 2010. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 68(3):1221-1230.
- Delgado de Molina, A., Santana, J.C., Ariz, J. & Rojo, V. (2014). Estadísticas españolas de la pesquería atunera tropical en el Océano Atlántico, Hasta 2012. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 70(6):2630-653.
- Dempster, T., & Taquet, M. (2004). Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 14(1):21-42.
- Deudero, S.C. (1999). *Relaciones tróficas en las comunidades ícticas asociadas a dispositivos agregadores de peces*. Mem. Tesis Doc., Univ. Illes Balears (Spain). 216 pp. **(27)**
- Deudero, S.C., Merella, P., Morales-Nin, B., Massutí, E., and Alemany, F. (1999). Fish communities associated with FADs. In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.). Biology and fishery of dolphinfish and related species. *Sci. Mar.* 63(3-4):199-207. **(28)**
- Dolloff, C. A., Kershner, J. & Thurow, R. (1996). Underwater observation. In: Pages 533-554, B.R. Murphy & D. W. Willis, (eds). *Fisheries techniques*, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Dooley, J.K. (1972). Fishes associated with the pelagic sargassum complex, with a discussion of the da community. *Contributions in Marine Science* (Publication of the Institute of Marine Science). Texas University 16:1-32. **(29)**

- Doulman, D.J. (1987). Development and Expansion of the tuna purse seine fishery. *In: Tuna Issues and Perspectives in the Pacific Islands Region*, p. 133-160. East-West Center, Honolulu, Hawaii.
- Druce, B.E., & Kingsford, M.J. (1995). An experimental investigation on the fishes associated with drifting objects in coastal waters of temperate Australia. *Bull. Mar. Sci.* 57(2):378-392. **(30)**
- EJF (2005). What's the Catch?: Reducing Bycatch in EU Distant Water Fisheries. Environmental Justice Foundation, London, UK. 16 pp.
- Essington T.E., Schindler D.E., Olson R.J., Kitchell J.F., Boggs C. and Hilborn R. (2002) Alternative fisheries and the predation rate of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. *Ecol. App.*, 12(3), 724-734.
- FADIO (2004). Fish Aggregating Devices. FADIO/IRD-Ifrermer Project (Fish Aggregating Devices as Instrumented Observatories of pelagic ecosystems). <http://www.fadio.ird.fr/index.htm>
- Fedoryako, B.I. (1982). Langmuir circulation as a possible mechanism of formation of fish association around a floating objects. *Oceanology*, 22:228-232.
- Fedoryako, B.I. (1988). Fish accumulations in the open ocean near stationary buoys. *J. Ichthyol.* 28(4):667-669. **(32)**
- Fedoryako, B.I. (1989). A comparative characteristic of the oceanic fish assemblages associated with floating debris. *J. Ichthyol.* 29(3):128-137. **(33)**
- Feigenbaum, D., Fridlander, A., & Bushing, M. (1989). Determination of the feasibility of fish attracting devices for enhancing fisheries in Puerto Rico. *Bull. Mar. Sci.* 44(2):950-959. **(34)**
- Fernández de Puelles, M.L. (1987). Evolución anual del microzooplancton en aguas de las Islas Canarias. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 4(2):79-90.
- Fernández de Puelles, M.L. & García-Braun, J.A. (1989). Dinámica de las comunidades planctónicas en la zona del Atlántico Subtropical (Isla de Tenerife). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(2):87-100.
- Field, J.G., Clarke, K.R., & Warwick, R.M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8:37-52.
- Filmlalter, J.D., Capello, M., Deneubourg, J.L., Cowley, P.D., & Dagorn, L. (2013). Looking behind the curtain: quantifying massive shark mortality in fish aggregating devices. *Front. Ecol. Environ.*, 11(6):291-296.

- Fine, M.L. (1970). Faunal variation on pelagic *Sargassum*. *Mar. Biol.*, 7:112-122. **(35)**
- Fitch, J.E. (1960). Offshore fishes of California (1st. revision). *Calif. Dept. Fish Game, Species Booklet*, 80 p. **(36)**
- Floys, J., & Pauly, D. (1984). Smaller size tuna around the Philippines - can fish aggregating devices be blamed? *Infofish Marketing Degest*, 5/85:25-27.
- Fonteneau, A. (1992). Pêche thoniere et objets flottants: Situation mondiale et perspectives. *In: Rapport de Synthèse sur Groupe de Travail IATTC "objets flottants et thons" présenté à la 12^{ème} Semaine des Pêches dos Açores, mars 1992*: 31 pp.
- Fonteneau, A. (2011). Summary of the 2nd symposium on "Tuna Fisheries and FAD" Tahiti, November 28th-December 2nd, 2011. *IOTC 2011 – SC14-INFO07*, 3pp.
- Fonteneau, A., & Hallier, J. (1993). La pesca del atún bajo objetos flotantes. *Mundo Científico*, **131**(13):76-77.
- Fonteneau, A., & Hallier, J.P. (2003). Indian Ocean FAD Fishery: An Endeavour for Tuna Research and Management. *Proceedings of the 54th Annual Tuna Conference*, Lake Arrowhead, California, May 13-16, 2003. swfsc.nmfs.noaa.gov/tunaconf/54thProceedings.pdf.
- Fonteneau, A. & Marcille, J. (1993). Resources, fishing, and biology of the tropical tunas of the Eastern Central Atlantic. *FAO Fisheries Technical Paper.*, No. 292.
- Fonteneau A., Pallarés P., Pianet R. (2000). A worldwide review of purse seine fisheries on FADs. *In: Cayré P., Le Gall J. Y., Taquet M. (Eds.) Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons, Colloque Caraïbe-Martinique, Trois-Ilets, 15-19 octobre 1999*. Institut de recherche pour le développement, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes. Editions Quae, 684 p.
- Forward, R.B.,JR. (1988). Diel vertical migration: Zooplankton photobiology and behavior. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 26: 361–393.
- Foxton, P. (1970). The vertical distribution of pelagic decapods (Crustacea: Natantia) collected on the Sond Cruise 1965. II The Penaeidea and general discussion. *J. Mar. Bio. UK.*, 50:961-1000.
- Franks, J.S. (2000). A review: pelagic fishes at petroleum platforms in the northern Gulf of Mexico; diversity, interrelationships and perspectives. *In: Le Gall J.-Y.*,

- Cayre, P., & Taquet, M. (eds.), *Peche thoniere et dispositifs de concentrations de poisons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq., 28:502-515.
- Friedlander, A., Beets, J., & Tobias, W. (1994). Effects of fish aggregating device design and location on fishing success in the U.S. Virgin Islands. *Bull. Mar. Sci.* 55(2-3):592-601.
- Fréon, P., & Misund, O.A. (1999). *Dynamics of pelagic fish distribution and behaviour: effects on fisheries and stock assessment*. Blackwell Science, Oxford, 348 pp.
- Fréon, P., & Dagorn, L. (2000). Review of fish associative behaviour: Toward a generalisation o the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, :1-25.
- Frick, M.G., Williams, K.L., Bolten, A.B., Bjorndal, K.A. & Martins, H.R. (2004). Diet and fecundity of Columbus crabs, *Planes minutus*, associated with oceanic-stage loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, and inanimate flotsam. *J. Crust. Biol.*, 24 (2): 350–355.
- Frusher, S.D. (1986). Utilization of small-scale fish aggregation devices by Papua New Guinea's artisanal fishermen. In: Maclean, J.L., L.B. Dizon and L.V. Hosillos (eds). *Proceedings of the 1st Asian Fisheries Forum*, Manila, Philippines, 26-31 May 1986. pp.:371-374. (42)
- Galea, J.A. (1961). The "Kannizzati" fishery. *Proceedings and Technical Papers of the General Fisheries Council for the Mediterranean* 6:85-91.
- Ganzedo-López, U. (2005). Efecto de las variaciones climáticas en la distribución espacio-temporal de *Thunnus thynnus thynnus* (Linnaeus, 1758) y *Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788) en el Océano Atlántico. Mem. Tesis.Doc. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Garcia, S.M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T., & Lasserre, G. (2003). The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 443:1-71.
- García-Cabrera, C. (1970). *La pesca en Canarias y Banco Sahariano*. Consejo Económico Sindical Interprovincial de Canarias. 176 pp.
- García-Ramos, C, Braum, J.G., Rodríguez, J.M. & Escamez, J.E. (1990). Seasonal distribution of zooplankton in Canary islands waters in the upper 200 meters. *ICES. Biological Oceanogr. Committee*, N 1:199 pp.
- Gilman, E., & Freifield, H. (2003). Seabird Mortality in North Pacific Longline Fisheries. *Endangered Species Update*, 20 (2): 35-46.

- Gomes, C., Mahon, R., Singh-Renton, S., & Hunte, W. (1994) The role of drifting objects in pelagic fisheries in the Southeastern Caribbean. *CARICOM Fish. Res. Doc.* 15:1-36. **(44)**
- Gómez, M.M.C. (1991). Biomasa y actividad metabólica del zooplancton en relación con un efecto de masa de isla en aguas de Gran Canaria. Mem. Tesis Doc. Univ. Las Palmas de Gran Canaria.
- González-Ramos, A. (1992). Bioecología del listado (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus, 1758) en el área de Canarias. Modelo de gestión y explotación mediante el uso de la teledetección. Mem. Tesis Doc., Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. 196 pp.
- Gooding, R.M., & Magnuson, J.J. (1967). Ecological significance of a drifting object to pelagic fishes. *Pac. Sci.* **21**:486-497.
- Goujon M., (2004a). Effets du plan de protection des thonidés de l'Atlantique 2002–2003 d'après les observations faites sur les thoniers senneurs gérés par les armements français. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56:388–400.
- Goujon M., (2004b). Informations sur l'activité des thoniers senneurs et du supply français et sur les observations en mer d'après les données collectées pendant les plans de protection des thonidés de l'Atlantique 2000–2001, 2001–2002 et 2002–2003. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56:432–442
- Goujon, M., Vernet, A.L., & Dagorn, L. (2012). Preliminary results of the Orthongel program “eco-FAD” as June 30th. *IOTC–2012–WPEB08–INF21*, 7 pp.
- Greenblatt, P.R. (1979) Associations of tuna with objects in the Eastern tropical Pacific. *Fish. Bull.* 77(1): 147-155.
- Grove, R.S. & Sonu, C.S. (1985). Fishing reef planning in Japan. In: Artificial reef (D'Itril, Ed.). *Lewis Publ. Inc.*, 1985:187-251.
- Barton, E.D., Arístegui, J., Tett, P., Cantón, M. García-Braun, J., HernándezLeon, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escáñez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M.F., NavarroPérez, E., Rodríguez, J.M., van Lenning, K., Vélez, H., & Wild, K. (1998). The transition zone of the Canary current upwelling system. *Prog. Oceanogr.*, 41(4):455-504.
- Hall, M. (1992). The association of tuna with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. VII. Some hypotheses on the mechanisms governing the associations of tunas with floating objects and dolphins. In: *International*

- workshop on fishing for tunas associated with floating objects*. (11-14 February 1992. La Jolla, California): 6 pp. **(47)**
- Hall, M. (1998). An ecological view of the tuna–dolphin problem. *Rev. Fish Biol. Fish.* 8:1-34.
- Hall, M., & García, M. (1992). The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. IV: Study of repeated sets on the same object. *In: International workshop on fishing for tunas associated with floating objects*. (11-14 February 1992. La Jolla, California): 16 pp.
- Hall, M., Lennert-Cody C., Garcia, M., & Ariz, P. (1999). Characteristics of floating objects and their attractiveness for tunas. *In* Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E., and Schaefer, K.M. (eds.) *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11-13, 1992, Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11, La Jolla, California, pp. 396-446.
- Hall, M.A., Alverson, D.L., & Metuzals, K.I. (2000). By-catch: problems and solutions. *Mar. Poll. Bull.*, 41:204–219.
- Hall, M., & Roman, M. (2013). Bycatch and non-tuna catch in the tropical purse seine fisheries of the world. *FAO Fish. Aquacult. Tech. Pap.*, 568:1-249.
- Hallier, J-P., & Gaertner, D. (2008). Drifting fish aggregation devices could act as an ecological trap for tropical tuna species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 353:255-264.
- Hallier J.P., & Parajua J.I. (1999). Review of tuna fisheries on floating objects in the Indian Ocean. *In*: Scott M.D. Bayliff W.H., Lennert-Cody C.E., Schaefer K.M. (Eds.). *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11-13, 1992, *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Spec. Rep.* 11, 195-221.
- Hamilton, W.D. (1971) Geometry for the selfish herd. *J. theor. Biol.* 31:295-311.
- Hammond, F.L., Myatt, D.O., & Cupka, D.M. (1977). Evaluation of midwater structures as a potential tool in the management of the fisheries resources on South Carolina's artificial fishing reefs. *S. Carolina Mar. Res. Center Tech. Rept. Ser.*, 15:1-19.
- Hampton, J., & Bailey, K. (1993). Fishing for tunas associated with floating objects: a review of the western Pacific fishery. SPC Tuna and Billfish Assessment Programme Tech. Rep. 31. *South Pacific Commission, Noumea, New Caledonia*.

- Hernández-García, V., Hernández-López, J.L. & Castro, J.J. (1998). The octopus (*Octopus vulgaris*) in the small-scale trap fishery off the Canary Islands (Central-East Atlantic). *Fishery Research*, 35:183-189
- Hernández-León, S. (1988a) Ciclo anual de la biomasa del mesozooplankton sobre un área de plataforma en aguas del Archipiélago Canario. *Inv. Pesq.*, 52(1):3-16.
- Hernández-León, S. (1988b). Algunas observaciones sobre la abundancia y estructura del mesozooplankton en aguas del Archipiélago Canario. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(1):109-118.
- Herrera, R., Moreno, T., Casaña, A., Soler, E., Larsen, H., & Haroun, R. (1995). Three years study of benthic communities on an artificial reef in Canary Islands. *Proceeding ECOSET'95*, Tokyo. Nov. 1995.
- Higashi, G.R. (1994). Ten years of fish aggregating device (FAD) design development in Hawaii. *Bull. Mar. Sci.* 55(2-3):651-666.
- Holland, K., Brill, R., & Chang, R.K.C. (1990) Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fish. Bull.* 88(3) 493-507. **(53)**
- Holland, K.N., Jaffe, A., & Cortez, W. (2000). The fish aggregating device (FAD) system of Hawaii. In: Le Gall J.-Y., Cayre, P., & Taquet, M. (eds.), *Peche thoniere et dispositifs de concentrations de poissons*. Ed. Ifremer, Actes Colloq., 28:502-515.
- Holland, K., Grubbs, D., Graham, B., Itano, D. & Dagorn, L. (2003). The biology of FADs-associated tuna: Temporal dynamics of association and feeding ecology. 16th Meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish. Mooloolaba, Qld, Australia. 9-16 July 2003. http://www.spc.int/DigitalLibrary/Doc/FAME/Meetings/SCTB/16/YFT_7.pdf
- Hong, S.W., Okamoto, M., Imai, T., & Fuwa, S. (1996). Effect of fish aggregating devices (FAD) for gathering juvenile Japanese horse mackerel *Trachurus japonicus*. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr* 60(4):356-362.
- Hong, S.W., Okamoto, M., Imai, T., Fuwa, S., & Kubota, K. (1997) Effect of FAD (fish aggregating devices) for gathering juvenile yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 63(2):194-200.
- Hunter, J.R. (1968). Fishes beneath flotsam. *Sea Frontiers* 14: 280-288.
- Hunter, J.R., & Mitchell, C.T. (1967). Association of fishes with flotsam in the offshore waters of Central America. *Fish. Bull.* 66(1):13-29. **(58)**

- Hunter, J.R., & Mitchell, C.T. (1968). Field experiments on the attraction of fish to floating objects. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 31:427-434. **(59)**
- ICCAT (2014). Report of the 2014 ICCAT East and West Atlantic Skipjack stock assessment meeting. Dakar (Senegal) (www.iccat.int/Documents/Meetings/Docs/2014_SKJ_ASSESS_ENG.pdf)
- Ibrahim, S., Ambak, M.A., Shamsudin, L., & Samsudin, M.Z. (1996) Importance of fish aggregating devices (FADs) as substrates for food organisms of fish. *Fish. Res.* 27:265-273 **(61)**
- Ida, H., Hiyama, Y., & Kusaka, T. (1967) Study on fishes gathering around floating seaweed-II. Behaviour and feeding habits. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **33**(10):472-478.
- Itano, D., Fukofuka, S. & Brogan, D. (2004). The development design and recent status of anchored and drifting fads in the WCPO SCTB17 Working Paper. INF-FTWG-3. Majuro, Marshall Islands, 9-18 August, 2004.
- Itano, D., & Holland, K.N. (2000). Movement and vulnerability of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in relation to FADs and natural aggregation points. *Aquat. Living Resour.* 13:213-223.
- Jaquemet, S., Potier, M. & Ménard, F. (2011). Do drifting and anchored fish aggregating devices (FADs) similarly influence tuna feeding habits? A case study from the western Indian Ocean. *Fish. Res.*, 107(1-3):283-290.
- Johnson, G.D. (1978). development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. IV. Carangidae through Ephippidae. *U.S. Fish Wild. Serv., Biol. Servs. Prog.*, FWS/OBS-71/12. 314 pp. **(62)**
- Josse, E. (1992). Different ways of exploiting tuna associated with fish aggregating devices anchored in french polynesia. Background document for the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13 1992, La Jolla, CA. Available from *Inter-American Tropical Tuna Commission*, 8604 La Jolla Shores Dr, La Jolla, CA 92037. (mimeo) pp. 18. **(63)**
- Josse E., Bertrand A., & Dagorn L. (1999). An acoustic approach to studying tuna aggregated around fish aggregating devices in French Polynesia: methods and validation. *Aquat. Living Resour.* 12, 303-313.
- Katekaru, A.Z. (1984). A cost-revenue assessment of the Hawaiian fish aggregating system. In: Gopalakrishnan, C. (ed.). *Emerging Marine Economy of the Pacific*. 1984. pp. 145-152

- Kawamoto, T., Yoshimoto, S., Asakawa, E., Sato, K., Okamoto, H., Kumazawa, T., Oshima, T., Takao, Y., & Hasegawa, S. (2012). Study on the methods to mitigate the by-catch of juvenile bigeye tuna by introducing *Double- FADs* with light stimulus for tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean. Scientific Committee Eighth Regular Session, 7-15 August 2012 Busan, Republic of Korea, Western and Central Pacific Commission WCPFC-SC8-2012/EB-WP-17, 14 pp.
- Kearney, R.E. (1981). Aspects économiques du développement et de la gestion des pêches dans le Pacifique central et occidental. *Lett. Inf. CPS Pêches* **22**:7-20
- Kelleher, K. (2005). Discards in the world's marine fisheries. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 470:1-131.
- Kihara, Y. (1981) Fishery based on the payao method in the philippines. *Suisan Sekai*, 30:78-84.
- Kingsford, M.J. (1992). Drif algae and small fish in coastal waters of north eastern New Zealand. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80(1):41-55
- Kingsford, M.J. (1993). Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: Importance to small fishes. *Bull. Mar. Sci.* 53(2):393-415.
- Kingsford, M.J. (1995). Drift algae: a contribution to near-shore habitat complexity in the pelagic environment and an attractant for fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 116:297-301. **(69)**
- Kingsford, M.J. (1999). Fish attraction devices (FADs) and experimental designs. In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.). Biology and fishery of dolphinfish and related species. *Sci. Mar.* 63(3-4):181-190. **(70)**
- Kingsford, M.J., & Choat, J.H. (1986). Influence of surface slicks on the distribution and onshore movements of small fish. *Mar. Biol.* 91:161-171.
- Kingsford, M.J., & Choat, J.H. (1989). Horizontal distribution patterns of presettlement fish: are they influenced by the proximity of reefs?. *Mar. Biol.* 100:285-297.
- Kingsford, M.J., & DeFries, A. (1999). The ecology and fishery for *Coryphaena* spp. In waters around Australia and New Zeland. *Sci. Mar.* 63(3-4):267-275.
- Kitamado, T., & Kataoka, C. (1996). A study for the realization of sustainable fisheries. A case of Payang fishery in the southern coast of west Jawa, Indonesia. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.* 77:117-126
- Klima, E.F., & Wickham, D.A. (1971). Attraction of coastal pelagic fishes with artificial structures. *Trans. Am. Fish. Soc.* 100:86-99.

- Klimley, A.P., & Holloway, C.F. (1999). School fidelity and homing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Mar. Biol.* 133, 307-317. **(76)**
- Kojima, S. (1956). Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea - II. Why do the fish take shelter under floating materials?. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 21(10):1049-1052.
- Kojima, S. (1960a). Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea-V. Species of fishes attracted to bamboo rafts. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 26(4):379-382. **(79)**
- Kojima, S. (1960b). Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea-VI. Behaviours of fish gathering around bamboo rafts. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 26(4):383-388. **(80)**
- Kojima, S. (1966). Studies on fishing conditions of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Western regions of the Japan Sea-XI. School of dolphins accompanying various kinds of flotages. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 32(8):647-651.
- Kojima, S. (1967). Studies on fishing conditions of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Western Regions of the Sea of Japan - XIII. "Tsukegi" as a source of food for dolphins. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 33(4):320-324. **(82)**
- Konev, A.F. (1993). On the connection between floating objects on the ocean surface and formation of large tuna schools. In: Yakovlev, V.N., E.V. Romanov, N.A. Lebedeva, Yu.K. Trushyn, I.G. Timokhin, B.G. Trotsenko & V.V. Korkosh (eds.). Resources of tunas and related species in the world ocean and problems of their rational utilization. Kerch, Ukraine 1-5 June 1992. pp:71-72.
- Kwei, E.A., & Bannerman, P. (1993). The effect of the introduction of new devices (FAD) and bird radars in the baitboat fishery of tuna in Ghana (SCRS/92/151). *Colecc. Doc. Cient. ICCAT.* 40(2): 473-479.
- Langley, A., Herrera, M., Hallier, J-P., & Million, J. (2009). Stock assessment of yellowfin tuna in the Indian Ocean using MULTIFAN-CL. IOTC-2009-WPTT-10
- Lewison, R.L., Crowder, L.B., Read, A.J. & Freeman, S.A. (2004). Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. *Trends Ecol. Evol.*, 19(2): 598-604.
- Lindquist, D.G., Ogburg, M.V., Stanley, W.B., Troutman, H.T., & Pereira, S.M. (1995). Fish utilization patterns on temperate rubble-mound jetties in North Carolina. *Bull. Mar. Sci.* 37:244-251.

- Lindquist, D.G., & Pietrafesa, L.J. (1989). Current vortices and fish aggregations: the current field and associated fishes around tugboat wreck in Onslow Bay, North Carolina. *Bull. Mar. Sci.* **44**:533-544.
- López, J. (2014). Behaviour of tuna and non-tuna species at Fish Aggregating Devices (FADs), ascertained through fishers' echo-sounders buoys: implications for conservation and management. PhD thesis. Department of Zoology and Animal Cell Biology, University of the Basque Country, 151 pp.
- Lukens, R.R. (1981). Ichthyofaunal colonization of a new artificial reef in the northern Gulf of Mexico. *Gulf Res. Rep.* **7**:41-49.
- Malig, J.B., De Jesus, A.S. & Dickson, J.O. (1991). Deep-sea Fish Aggregating Devices (FADs) in the Philippines. Indo Pacific Fishery Commission, Papers presented at the Symposium on artificial reefs and Fish Aggregating Devices as tools for the management and enhancement of marine fishery resources, Colombo, Sri Lanka, 14-17 May 1990. *RAPA Report 1991/11*: 214-228.
- Mansueti, R. (1963). Symbiotic behavior between small fishes and jellyfishes, with new data on that between the stromateid, *Peprilus alepilotus*, and the scyphomedusa, *Chrysaora quinquecirrha*. *Copeia* 1963:40-80. **(88)**
- Marliave, J.B. (1986). Lack of planktonic dispersal of rocky intertidal fish larvae. *Trans. Am. Fish. Soc.* **115**:149-154.
- Marsac, F., & Stequert, B. (1986). La peche des thons autour d'epaves ancrees dans l'Ocean Indie. *Pêche Marit.* **66**(1311):439-446.
- Marsac, F., Fonteneau, A. & Ménard, F. (2000). Drifting FADs used in tuna fisheries: an ecological trap? In: Le Gall, J.Y., Cayre, P. Taquet, M. (eds). Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons. *Actes Colloques-IFREMER*, **28**:537-552
- Martínez-Rincón, R.O., Ortega-García, S., & Vaca-Rodríguez, J.G. (2009). Incidental catch of dolphinfish (*Coryphaena* spp.) reported by the Mexican tuna purse seiners in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Res.*, **96**(2-3): 296-302.
- Massutí, E. (1997). Biology of *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Coryphaenidae) in the Western Mediterranean. Mem. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears (Spain). 169 pp. **(91)**
- Massutí, E., & Morales-Nin, B. (1991). La pesca de la llampuga (*Coryphaena hippurus*) en Mallorca. *Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanogr.* **96**:18 pp.
- Massutí, E., & Reñones, O. (1994). Observaciones sobre la comunidad de peces pelágicos asociados a objetos flotantes en aguas oceánicas de Mallorca. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* **10**(1):81-93.

- Massutí, E., & Vidal, S. (1997). *La llampuga: un mite de la tardor*. Edicions Documenta Balear. Palma de Mallorca. 195 pp.
- Mathews, J., & Butcher, T. (1983). FAD research in New South Wales. *Austral. Fish.* 42(6):49-51. **(94)**
- Mathews, C.P., Monintja, D., & Naamin, N. (1996). Studies of Indonesian tuna fisheries, part 2: Changes in yellowfin abundance in the Gulf of Tomini and North Sulawesi. *In*: Shomura, R.S., J. Majkowski & R.F. Harman (eds.). Status of Interactions of Pacific tuna fisheries in 1995. Proceeding of the 2nd. FAO Expert Consultation on the Interactions of Pacific Tuna Fisheries. Shimizu, Japan, 23-31 January 1995. *FAO Fish. Tech. Pap.* 365:298-305. **(95)**
- Matsumoto, W.M., Kazama, T.K., & Aasted, D.C. (1981). Anchored fish aggregating devices in Hawaiian waters. *Mar. Fish. Rev.* 43(9):1-13. **(96)**
- Melnychuck, M., Guénette, S., Martínez-Sosa, P., & Balguerías, E. (2001). Fisheries in the Canary Islands, Spain. *In* Fisheries impacts on North Atlantic ecosystems: Catch, effort and national/regional data sets. Ed. by D. Zeller, R. Watson, and D. Pauly. *Fisheries Centre Research Report*, 9(3):221-224.
- Mingorance, M.C. (1983). Introducción al estudio del ciclo anual del zooplancton de la isla de Tenerife, con especial atención al grupo de los cladóceros. Tesina. Univ. La Laguna, 109 pp
- Ministerio de Medio Ambiente (2008). Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Catálogo General de publicaciones oficiales <http://www.060.es>. Centro de Publicaciones, Secretaría Técnica. Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de España.
- Mitchell, C.T., & Hunter, J.R. (1970). Fishes associated with drifting kelp, *Macrocystis pyrifera*, off the coast of Southern California and Northern Baja California. *Calif. Fish and Game* 56(4):288-297. **(97)**
- Morato, T., Hoyle, S.D., Allain, V., & Nicol, S.J. (2010). Tuna Longline Fishing around West and Central Pacific seamounts. *PLoS ONE*, 5(12): e14453. doi:10.1371/journal.pone.0014453
- Moreno, G., Dagorn, L., Sancho, G. & Itano, D. (2007). Fish behaviour from fishers' knowledge: the case study of tropical tuna around drifting fish aggregating devices (DFADs). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 64(11):1517-1528.
- Morgan, A.C. (2011). Fish aggregating devices (FADs) and tuna. Impacts and Management options. Ocean Science Division, PEW Environment Group. Washington, D.C. 17pp.

- Morales-Nin B., Oliver, P., Castro, J.J., Cannizzaro, L., Potoschi, A., & Pla, C. (1996). Biology and Fishery of Dolphinfish in the Western Mediterranean and Canary Island Area - Report, Contract U.E. n° 94/031.
- Mortensen, T. (1917). Observations on protective adaptation and habits, mainly in marine animals. In: Papers from Dr. Th. Mortensen's Pacific Expedition 1914-1916. *Vidensk. Medd. Dansk Naturhist. Forem.* 69:57-96.
- Moser, M.L., Auster, P.J., & Bichy, J.B. (1998). Effects of mat morphology on large *Sargassum*-associated fishes: observations from a remotely operated vehicle (ROV) and free-floating video comcorders. *Env. Biol. Fish.* 51:391-398. **(98)**
- Murray, J., & Hjort, J. (1912). *The depths of the ocean: a general account of the modern science of oceanography based largely on the scientific researches on the Norwegian steamer Michael Sars in the North Atlantic.* MacMillan & Co. Ltd., London, xx+821 pp.
- Nagasawa, T., & Kobayashi, T. (1995). The early life history of the rockfish, *Sebastes thompsoni* (Scorpaenidae), in the Sea of Japan. *Jap. J. Ichthyol.* 41(4):385-396. **(101)**
- Nakamae, A. (1991). Artificial reef project in Japan. Symposium on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices as Tools for the Management and Enhancement of Marine Fishery Resources. Colombo, Sri Lanka, 14-17 May, 1990. Rapa Report 1991/11, 244-250.
- Nakata, H., Takeuchi, H., & Hirano, T. (1988). A field experiment with drifting hoop nets collect the small fish gathering around drift algae. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 54(11):1899-1906. **(102)**
- Nash, R.D.M., Magnuson, J.J., Clay, C.C., & Stanton, T.K. (1987). A synoptic view of the Gulf Stream Front with 70 kHz sonar: taking advantage of a closer look. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **44**:2022-2024.
- Nelson, P.A. (1999). The biology of flotsam-associated fish assemblages off the Pacific Coasts of Panama, Central America. PhD thesis. Northern Arizona University, 162 pp
- Norris, S., Hall, M., Melvin, E., & Parrish, J. (2002). Thinking like an Ocean: Ecological Lesson from Marine Bycatch. *Conserv. Pract.*, 3:10-19.
- Ohta, I, & Kakuma, S. (2005). Periodic behavior and residence time of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices around Okinawa Islands, as identified with automated listening stations. *Mar Biol* 146:581–594

- Oxenford, H., Mahon, R., & Hunte, W. (eds.) (1993) The eastern Caribbean flyingfish project. OECS: Cane Garden (ST. Vincent and the Grenadines). OECS fishery report. Kingstown, **9**, 171 pp.
- Pallarés, P., Fonteneau, A., Norstrom, V., Delgado de Molina, A., Santana, J.C., & Ariz, J. (1996). Análisis de las capturas de atunes, asociadas a objetos flotantes, efectuadas por las flotas de cerco en el océano Atlántico. *Industrias Pesqueras* 1661:4.
- Parker, T., & Tunnicliffe, V. (1994) Dispersal strategies of the biota on an oceanic seamount: Implications for ecology and biogeography. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole* **187**(3):336-345.
- Parin, N.V., & Fedoryako, B.I. (1999) Pelagic fish communities around floating objects in the open ocean. In Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E., and Schaefer, K.M. (eds.) Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13, 1992), Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11, La Jolla, California, pp 447-458. **(107)**
- Pepperell, J. (2001). Fatal attraction. In: Bluewater magazine. <http://www.bluewatermag.com.au/dec02feature2.asp>.
- Pereira, J. (1996). Tuna schools in the Azores (SCRS/95/122). *ICCAT Coll. Doc. Sci.* 45(3):236-247. **(108)**
- Pitcher, T.J., & Parrish, J.K. (1993). Functions of shoaling behaviour in teleosts. In: Pitcher, T.J. (ed.). Behaviour of teleost fishes, 2nd. ed. Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 7. London. pp:363-439.
- Pollard, D.A., & Matthews, J. (1985). Experience in the construction and siting of artificial reefs and fish aggregation devices in Australian waters, with notes on and a bibliography of Australian studies. *Bull. Mar. Sci.* 37(1):299-304. **(111)**
- Potoschi, A. (1996). Studio sulla pesca, la consistenza delle risorse e la biologia di *Coryphaena hippurus* L. 1758 nei mari siciliani con particolare riferimento al Tirreno Meridionale ed allo Ionio. III Piano Triennale della Pesca Marittima e dell'Acquacoltura in Acque Marine e Salmatre (ricerche della Legge 41/82).Università degli studi di Messina.
- Preston, G. (1982). The Fijian experience in the utilization of fish aggregation devices. *South Pacific Commission Technical Report/Fisheries* 14/WP 25. Noumea, New Caledonia. 61 pp.
- Riera, F., Grau, A., Grau, A.M., Pastor, E., Quetglas, A., & Pou, S. (1999). Ichthyofauna associated with drifting floating objects in the Balearic Islands (western

- Mediterranean. In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.). *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* 63(3-4):229-235. **(114)**
- Robert, M., Dagorn, L., Deneubourg, J.L., Itano, D. & Holland, K. (2012). Size-dependent behavior of tuna in an array of fish aggregating devices (FADs). *Mar. Biol.* 159(4):907-914.
- Rodríguez-Alfaro, S. (2013). Impacto de los artes de pesca sobre las especies y ecosistemas. En: *La pesca, entre sus circunstancias y consecuencias*. Castro Hernández, J.J. (ed); pp: 85-122. Textos Universitarios, 42. Anroart Ediciones.
- Rodríguez, J.M., Hernández-León, S., & Barton, E.D. (1999). Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Deep Sea Res., Part 1, Oceanographic Research Papers*, 46(11):1969-1984.
- Rountree, R.A. (1983). The ecology of *Stomonolephus meleagus* and its fish symbionts. *J. Elisha Mitch. Sci. Soc.* 99(4):172 (abstract). **(116)**
- Rountree, R.A. (1989). Association of fishes with fish aggregation devices: effects of structure size on fish abundance. *Bull. Mar. Sci.* 44(2):960-972. **(117)**
- Rountree, R.A. (1990). Community structure of fishes attracted to shallow waters fish aggregation devices off South Carolina, USA. *Env. Biol. Fish.* **29**:241-262. **(118)**
- Russell, B.C, Talbot, F.H., Anderson, G.R.V., & Goldman, B. (1978). Collection and sampling of reef fishes. In: Stoddart DR, Johannes RE (eds) *Coral reefs research methods*. UNESCO, Paris, p 329-345
- Sacchi, J. (1986) Les dispositifs de concentration de poissons et le développement des pêches côtières. *Equinoxe* **9**:14-22.
- Safran, P., & Omori, M. (1990). Some ecological observations on fishes associated with drifting seaweeds off Tohoku coast, Japan. *Mar. Biol.* **105**(3):395-402. **(119)**
- Sale, P.F. (1980). The ecology of fishes on coral reefs. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 18:367-421.
- Sale, P.F., & Sharp, B.J. (1983) Correction for bias in visual transects of coral reef fishes. *Coral Reefs*, 2:37-42
- Santamaría, M.T.G, García-Braun, J.G., De Armas, J.D., Real, F.C., Escamez, J.E., & Villamandos, J.E. (1989). Estudio comparativo de las comunidades zooplanctónicas en San Andrés y los Cristianos. (Tenerife). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5(2): 57-70.

- Scott, G.P. & Lopez, J. (2014). The use of FADs in the tuna fishery. European Parliament. Policy Department B: Structural and Cohesion Policies: Fisheries IP/B/PECH/IC/2013-123:70 pp.
- Seaman, J.W. (Jr). (2000). Artificial reef evaluation with application to natural marine habits. Ed. CRC press. 246 pp.
- Seaman, W., Jr, & Sprague, L.M. (eds). (1991). *Artificial habitat for marine and freshwater fisheries*. Academic Press. San Diego. 285 pp.
- Shanks, A.L. (1983). Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shoreward. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 13:311-315.
- Sibly, R.M. (1983). Optimal group size is unstable. *Anim. Behav.* 31, 947-8.
- Smith-Vaniz, W.F. (1986). Carangidae. p. 638-661. In M.M. Smith and P.C. Heemstra (eds.) *Smiths' sea fishes*. Springer-Verlag, Berlin.
- SPC (1990). Review of FAD experiences in the region and identification of country needs—questionnaire. Fish Aggregating Devices (FADs) Research Project. SPC, Noumea. 6 p.
- SPC (1992). Inshore fish aggregation devices, their deployment and use. Working Paper 10. 24th *Regional Technical Meeting on Fisheries*. SPC, Noumea. 11 pp.
- Stephan, C.D., & Lindquist, D.G. (1989) A comparative analysis of the fish assemblages associated with old and new shipwrecks and fish aggregating devices in Onslow Bay, North Carolina. *Bull. Mar. Sci.* 44(2):698-717. **(122)**
- Stretta, J.-M., & Slepoukha, M. (1986). Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de thons. In Symons, P.E.K., Miyake, P.M., and Sakagawa, G.T. (eds.) *Proceedings of the ICCAT conference on the international skipjack year program*, ICCAT, Madrid, pp. 161-169.
- Tanaka, Y., & Oozeki, Y. (1996). Where are the eggs of the Pacific saury, *Cololabis saira*? *Ichthyol. Res.* 43(3):329-333. **(124)**
- Taquet, M., (2004). Le comportement agrégatif de la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) autour des objets flottants. Thèse de Doctorat, Université de Paris 6, Océanologie biologique.
- Timokhin, I.G., & Korkosh, V.V. (1993). Fish concentrations near floating objects, their species composition and some features of their biology. In: Yakovlev, V.N.,

- E.V. Romanov, N.A. Lebedeva, Yu.K. Trushyn, I.G. Timokhin, B.G. Trotsenko & V.V. Korkosh (eds.). Resources of tunas and related species in the world ocean and problems of their rational utilization. Kerch, Ukraine 1-5 June 1992. pp:82-86. **(125)**
- Torres-Irineo, E., Gaertner, D., Delgado de Molina, A., & Ariz, J. (2011). Effects of time-area closure on tropical purse-seine fleet dynamics through some fishery indicators. *Aquat. Living Resour*, 24:337-350.
- Trujillo-Santana, A. (2010). Estudio de la pesquería artesanal del cebo vivo sobre *Katsuwonus pelamis* en los Archipiélagos Atlánticos Hispanolusos y Golfo de Vizcaya. Informe Técnico de Investigación, Universidad Las Palmas de Gran Canaria, 93 pp.
- Uda, M. (1933). Types of skipjack schools and their fishing qualities: the shoals of 'katuwo' and their angling. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 2:107-111. (Transl. by W.G. van Campen, 1952, *U.S. Fish Wilds. Ser. Spec. Sci. Rep. Fish.* 83:68-78).
- van Pel, H. (1938). De beoefening van de majang zeevisscherij langs de noordkust van Java. *Meded. Inst. Zeevissch.*, Batavia (2B):101-113.
- Vinogradov, M.E. (1983). Open ocean ecosystem. In: Kinne, O. (ed.). pp. 657-737. Marine-ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Vol. 5. Ocean management. Part. 2. Ecosystems and organic resources.
- Viñuales-Solé, J. (ed.) (1996). Los Etruscos amantes de la vida de Italia. Vol. 1. Time Life Books Inc. Ediciones Folio, S.A., Barcelona. p. 35.
- Wickham, D. A., & Russell, G.M. (1974). An evaluation of mid-water artificial structures for attracting coastal pelagic fishes. *Fish. Bull.* 72(1):181-191. **(130)**
- Wickham, D., Watson, J., & Ogren, L. (1973). The efficacy of midwater artificial structures for attracting sport fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 3:563-673. **(131)**
- Wilkins, R.M., & Goodwin, M.H. (1989). Progress report on the evaluation of fish aggregating devices for the eastern Caribbean. In: Waugh, G.T. and M.H. Goodwin (eds). *Proceedings of the thirty ninth annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Hamilton, Bermuda*, Nov. 1986. 39:405-407.
- Wood, J. (1989). Cape Verde. Consultancy for construction and deployment of fish aggregating device (FAD) in the Republic of Cape Verde (8 April-7 June 1989). ROME-ITALY FAO 1989. 26 pp.

- Workman, I.K., Landry, A.M.Jr., Watson, J.W.Jr., & Blackwell, J.W. (1985). A midwater fish attraction device study conducted from Hydrolab. *Bull. Mar. Sci.* 37(1):377-386. **(133)**
- Yu, L.S. (1992). Characteristics of formation and behaviour of associated aggregations of tunas in the Western Indian Ocean. Background document for the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11-13 1992, La Jolla, CA. Available from Inter-American Tropical Tuna Commission, 8604 La Jolla Shores Dr, La Jolla, CA 92037. (mimeo) pp. 3.

ANEXO

A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis



Point of view

A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis

José J. Castro, José A. Santiago & Ana T. Santana-Ortega

Departamento de Biología, Univ. de Las Palmas de Gran Canaria, Campus de Tafira, Edf. Ciencias Básicas, Las Palmas de Gran Canaria, Spain (E-mail: josejuan.castro@biologia.ulpgc.es)

Accepted 11 June 2002

Contents

Abstract	page 255
Introduction	256
When is a fish aggregated with an object? (A definition of aggregation)	256
What are floating objects?	258
Why do fish aggregate around floating objects?	259
Why do fish associate to floating objects?	261
Fish species which aggregate/associate under floats	271
Rhythms of aggregation and association of the fish fauna	271
Generalization and conclusions	272
Acknowledgements	273
References	273

Key words: Fish Aggregating Devices, FAD, floating structures, drifting flotsam, indicator log, meeting point

Abstract

An immense variety of fish may, on occasions, aggregate around or be associated with floating structures such as drifting algae, jellied zooplankton, whales, floats or anchored fish aggregating devices (in effect, there are over 333 fish species belonging to 96 families recorded in the literature).

Several hypotheses have been advanced to explain this behaviour of pelagic fish, although the most widely accepted theory is that fish use floating materials, to some extent, to protect themselves from predators. However, we think that aggregation under floats may be the result of behaviour that has evolved to safeguard the survival of eggs, larvae and juvenile stages, during dispersion to other areas. Natural floating structures (e.g., algae, branches of trees) drift in sea currents that originate in places where the floating objects are frequently found (e.g., river estuaries, coastal areas). These same sea currents also introduce some of the planktonic production generated in these areas into the oligotrophic pelagic environment. Fish associated with drifting floating structures probably feed on invertebrates associated with the structures. However, they may also benefit from the accumulated plankton in the converging waters. Adult fish of some migratory species (tuna, dolphinfish, etc.) have also developed similar associative behaviour around drifting objects for other reasons (e.g., resting places, presence of bait fish, geographical references and school recomposition). In this context, the meeting point hypothesis is only applicable to one specific case, the tuna and tuna-like species.

Aggregative and associative behaviour, under and around floating devices, may be the result of convergent behaviors that result from different motivations. However, generally this behaviour can be explained by the fact that drifting floating objects represent a means of reaching relatively rich areas, where larvae and juvenile fish have an increased chance of survival.

Introduction

Scientific articles regarding the tendency of several pelagic fish species to aggregate in great numbers around floating objects are not a recent phenomenon in the literature (Mortensen, 1917; Uda, 1933; Kojima, 1956; Galea, 1961; Hunter, 1968). The first observations of this aggregative behaviour date back to the VIIIth century B.C. (a painted Greek vase depicting fish, probably *Naucrates ductor*, aggregated under the corpses of shipwrecked people: this was found in a settlement on the Island of Ischia, Italy) (Viñuales-Solé, 1996). Fishermen the world over take advantage of this aggregative behaviour in order to increase their catches (Kojima, 1956; Biais and Taquet, 1990; Galea, 1961; Massuti and Vidal, 1997).

The first commercial fish aggregating devices (FADs) were installed in the Philippines at the beginning of 1960-70 in order to attract yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) (Greenblatt, 1979; Matsumoto et al., 1981; Kihara, 1981). The success of FADs (Figure 1) in aggregating fish have made these devices important to the commercial, local and sports fisheries of many tropical and subtropical seas and oceans in the world (Pollard and Matthews, 1985; Frusher, 1986; Wilkins and Goodwin, 1989; Holland et al., 1990; Buckley and Miller, 1994; Friedlander et al., 1994; Higashi, 1994; Kitamado and Kataoka, 1996). In 1982, many countries in the South Pacific and Indian Pacific had, or were developing, FAD installation programs (de San, 1982; Preston, 1982; Buckley et al., 1989).

The first scientific studies relating to the causes of the aggregative behaviour of fish under floating objects were carried out in the Sea of Japan (Kojima, 1956; 1960a,b; 1966). These were followed by the studies of Gooding and Magnuson (1967), and Hunter and Mitchell (1968) in the Central-East Pacific, and by many others of significance (e.g., Wickham and Russell, 1974; Greenblatt, 1979; Feigenbaum et al., 1989; Rountree, 1989; Fréon and Dagorn 2000). In spite of the amount of research that has been carried out, the motivations for the aggregative behaviour of fish around floats are still, to a great extent, poorly understood.

The aim of this paper is to review the main hypotheses that have been advanced to explain the aggregative behaviour of pelagic fish around floating devices, to clarify the concepts of aggregation and association, and to propose a theory with respect to the mechanisms of aggregation and association.

When is a fish aggregated with an object? (A definition of aggregation)

Associative behaviour is defined as the spatial relationship between an animal (or a group) of a given species and an animal of another species or an object, based on a decision by at least one of the two individuals to maintain contact but not feed on the other. Although Fréon and Dagorn (2000) expanded this definition to include topographic structures (seamount, island, etc.) that are not the exclusive habitat of the associated animal, in our opinion, these should be in a different category from the type of objects we examine in this paper. However, in order to understand the aggregative behaviour of fish, we run up against two obstacles: the varying definitions of the terminology used by different authors and, at times, the total lack of distinction between the terms aggregation and association.

What, if any, are the differences between aggregated and associated fish? When can a fish be considered aggregated with a floating structure? Are the terms synonymous? According to the dictionary (Longman, 1984), association is defined as occurring when somebody is closely connected to or accompanies another for a common purpose. Aggregation is defined as a collection of units (inanimate objects, animals, plants, etc.) in one body, mass, or quantifiable substance (a compound organism), with units easily identifiable from each other. In this sense, the differences between the two terms are relatively minor, and are basically distinguished by the motivation for the relationship. However, in the sense of the relationship between a fish (or a group of fish) and a floating object, the two terms have different connotations with respect to the distances between the fish and the float, and also, certain varying nuances relating to the degree of dependence of the fish on the float.

Not all the species of fish recorded as aggregated or associated with floating objects maintain the same distance from the float or behave in the same way near it. For this reason, we use the terms association or aggregation to group species according to criteria of distance between the fish and the floating object and of the degree of dependence on the float. Thus, fish aggregated with an object are those that live very close to the floating structure and reveal an enormous dependence on its presence (to obtain food, refuge, etc.). Fish associated with an object are those that circulate some ten to hundreds of meters from the structure, and do not demonstrate any clear

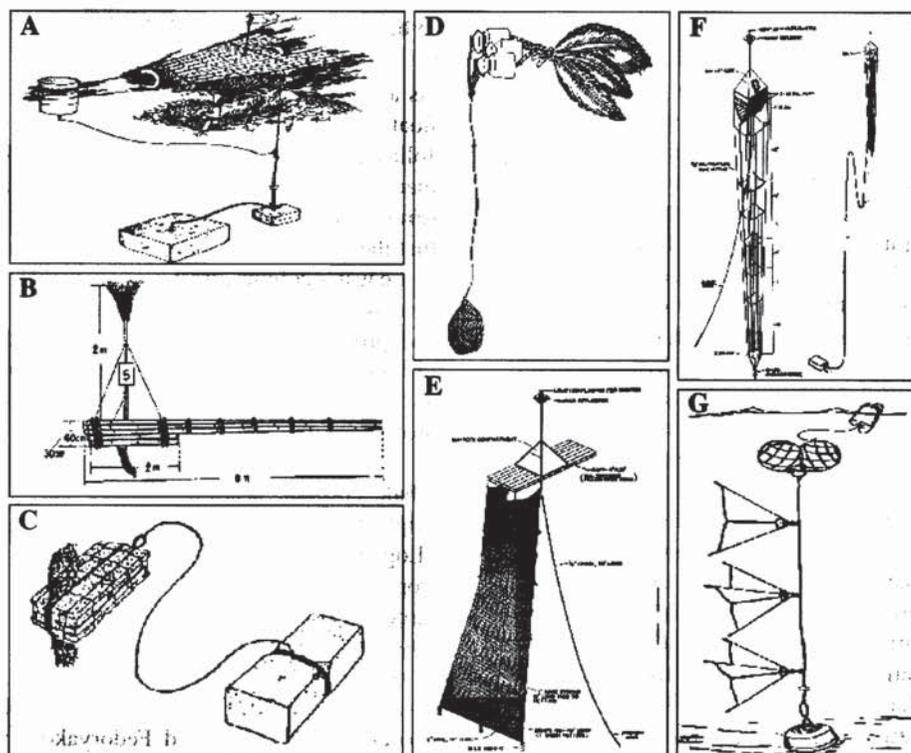


Figure 1. Diagrams of types of fish aggregating devices used in different parts of the world. A. Raft called "payao" used by tuna fishermen off certain islands of the Philippines (by de Sylva, 1982). B. Bamboo raft called "tsukegi" used in Japan to fish dolphin fish (by Kojima, 1956). C. Fish aggregating device called "capcer" used off the Balearic Islands (the East Mediterranean Sea) (by Massutí & Reñones, 1994). D. "Cannizzi" made with plastic bottles and palm leaves used by fishermen of Sicily (Italy) (by Potoschi, 1996). E. and F. Anchored fish aggregating devices used in Hawaiian waters. Raft made of wooden planks filled with polyurethane foam and a nylon net drape hanging from its rear (E), and a FAD made with gallon steel oil drums filled with polyurethane foam in a frame of iron and a drape made of polypropylene (F). Both FADs have a radar reflector and a navigational warning light (by Matsumoto et al., 1981). G. Manufactured FAD McIntosh Sea-kites fishing system (by McIntosh Marine, Inc. 621 Idlewyld Drive, FL, USA).

or vital dependence. In this sense, we can and will distinguish throughout this text between aggregated and associated species, and we argue in favor of this categorization.

The distance maintained by fish below or around a floating structure, which allows us to differentiate between aggregated and associated species, is widely diverse in the literature. For example, Buckley and Miller (1994) considered fish to be associated with FADs if they were caught within 1.6 kilometres of the floats. However, Kingsford (1999) concluded that the area of influence, or spatial extent of the impact of FADs, depended upon the size of the fish. We agree with Kingsford and believe that the sphere of influence of the FAD is dependent upon the species of the fish and its stage of development. Thus, for juvenile fish (i.e., *Seriola* spp.) the sphere of influence may

be on a scale of a few centimetres to meters, while for adults of the same species the distance may be up to a hundred meters. The distance of association of *Naucrastes ductor* is from a few centimetres to a few meters, while for the yellowfin tuna it may range from a hundred meters to kilometres. For example, Fréon and Dagorn (2000) applying a technique described in Josse et al. (1999), differentiate between three different classes of "aggregations" based on echo location: (i) schooling tuna were "very close" to the FAD (< 200 m, between the surface and 50 m deep); (ii) intermediate scattered tuna were close to the FAD (between the surface and 200 m deep, with decreasing densities to 700 m); and (iii) deep scattered tuna were encountered between 100 m and 350 m deep and were to be found at least 1,500 m away from the FAD (the limit of the prospected area). Here we can see

that to define the distance from the object seems to be important when describing behaviour and, despite the fact that the distance in meters is of a specific magnitude, we cannot apply the terms "close" and "far" because they are highly subjective (a distance of 200 m is close for tuna but quite far for juvenile *Seriola*).

In the literature, it is common to find classifications of fish based on the distance of individuals from the center of the floating device, which overlook the fact that fish also move depending on their biological requirements (day/night rhythms, hunger, presence/absence of predators, etc.). For example, Kojima (1960b) gives a radial distribution of fish which broadly coincides with that given by Parin and Fedoryako (1999), where three broad groups of spatial organization are proposed for the aggregate fish community: intranantant (less than 50 cm from the object), extranantant (between 50 cm and 2 m from the object) and circumnatanant (further than 2 m from the object). Recently, Fréon and Dagorn (2000) proposed some modifications to the distances used in the classification by Parin and Fedoryako (1999), although no significant changes were made to the original model.

As we can see, the classification of species according to the distance of aggregation/association of the fish to the floating object seems to be widely arbitrary and does not always take into consideration aspects such as the length of the fish (mobility), color (camouflage), developmental stage (juvenile or adult), social behaviour (schooling or solitary species) and/or environmental conditions (currents, presence of predators, presence of co-specifics, etc.). However, as a rule we can consider that small individuals (frequently of dark or orange color or with dark vertical bars) are generally to be found very close (in the range of centimetres to few meters) to the floating device, especially among the branches or net pieces which constitute the submerged volume (we can say that they are aggregated and seem to be integrated into a made-to-measure habitat). On the other hand, fish of a larger size are to be found further removed from the float, especially in the vertical plane, and they swim around it without exhibiting direct dependence upon the raft (we can say that they are associated). Kojima (1960b), and Mitchell and Hunter (1970) observed that these fish were adults of greater size and pelagic coloration.

What are floating objects?

As a consequence of two international workshops on floating objects and tuna held in 1992 and 1999 (in La Jolla and in Martinique respectively), a distinction was made between drifting objects and anchored objects (Fréon and Dagorn, 2000). Both share the condition that they float on the water surface or at middle depth in the water column, creating a submerged volume that acts as a substrate for a large variety of invertebrates and providing some refuge for fish. From the point of view of our theory, the differences between them are not significant, at least in terms of fish behaviour around the objects.

Natural drifting objects are mainly algae, jellyfish, whale corpses, seabird feathers, and parts of trees originating in rivers and floating out into the oceans. "Log-school" fisheries have largely been developed in tropical coastal waters close to mangrove regions or large rivers (Stretta and Slepoukha, 1986; Ariz et al., 1999; Hall et al., 1999). Several pelagic brown algae of the genus *Sargassum* frequently attract significant associated fauna (Fine, 1970; Bortone et al., 1977; Moser et al., 1998), and Fedoryako (1989b) found that the highest diversity of fish species was associated with these drifting macrophytes (75% of all the species recorded), and terrestrial material (78% of all the species recorded). At present, natural trees or logs represent less than half the total number of floating objects found by fishermen (48% in the Eastern Pacific Ocean for instance; Hall et al., 1999). Most objects result from human activities (planks, pallets and other industrial residues, abandoned fishing nets, buoys, etc.). Riera et al. (1999) observed that 83.5% of the floating objects found in the Western Mediterranean were anthropogenic in nature.

For a long time fishermen have built and anchored artificial floating objects (Greenblatt, 1979; Matsumoto et al., 1981; Kihara, 1981). Occasionally, some of these floats are allowed to drift and are fitted with transmitter beacons to aid their location (some of them are equipped with echo-sounders which transmit information regarding the aggregated biomass). As a result of the deployment of FADs by fishers, the areas of log fishing have been extended (Fréon and Dagorn, 2000). Fishermen of the Pacific and Indian oceans make floating structures (Figure 1A–B) which are small bamboo rafts from which they hang branches, or pieces of old nets and palm leaves as submerged volume (van Pel, 1938; Marsac and Stéquent, 1986; Biais and Taquet, 1990; Josse, 1992; Mathews et al.,

1996; Ibrahim et al., 1996). In the Mediterranean Sea, anchored floats are made out of wood and cork blocks (or even plastic bottles) on which branches of trees are fixed to act as submerged volume (Massutí and Reñones, 1994; D'Anna et al., 1999) (Figure 1C–D). Nowadays, manufactured FADs may be afloat (superficial) or submerged (Figure 1G). In all cases they are generally very simple, low-cost structures and fish harvested from around them represent less than 2% of the total catch (de Sylva, 1982; Castro et al. 1999).

Moreover, it must be borne in mind that tuna tend to associate with dolphins and other large animals (i.e., whale sharks) (Hall, 1992; Fonteneau, 1992; Cayré et al., 1991; Pereira, 1996). These observations suggest that perhaps there may be some link between all of these different manifestations of the same behaviour and that they are not independent adaptations (Fréon and Dagorn, 2000).

The physical characteristics of floating objects (size, structure, color, presence of epibionts, etc.) are thought to play a role in the attraction of fish. However, none of the observations clearly indicates any particular characteristic that might explain differences with respect to their capacity for attracting fish (Wickham and Russell, 1974; Workman et al., 1985; Bard et al., 1985; Hall et al., 1999). For example, despite the fact that it was initially thought that, in general, the fish biomass was greater under large floats than under small ones (Hunter and Mitchell, 1967; Rountree, 1989), from a certain size onwards (over 1 m), there are no significant differences (Fonteneau, 1992).

Why do fish aggregate around floating objects?

There are several hypotheses that have been proffered to explain aggregative behaviour around floating objects (Table 1), and probably all of them may be used to explain the behaviour of any one given species. The most widely held hypothesis is that fish use floating materials because in some way they are afforded protection from predators, either via direct shelter provided by the structure, or via camouflage and mimicry or some other mechanism of interference with a predator's ability to capture prey (Gooding and Magnuson, 1967; Hunter and Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Mitchell and Hunter, 1970; Feigenbaum et al. 1989; Rountree, 1989). Aggregation motivated by trophic factors is another hypothesis (Gooding and Magnuson, 1967). However, Ibrahim et al. (1996) provide evidence against this hypothesis.

Hunter and Mitchell (1967) also suggested that floating objects may function as substitutes for the seabed for species that are not adapted to pelagic life or for others undergoing a change from a pelagic to another mode of existence. In both of these latter situations, the objects may provide a visual stimulus in an optical void (Hunter and Mitchell, 1967; Klima and Wickham, 1971).

However, if we bear in mind that the majority of fish species which have been found aggregated around floating structures are postflexion or juvenile fish (over 80% of the species recorded; see Table 2), this behaviour may have developed as a dispersal mechanism and to increase the survival rate of juveniles in the pelagic environment (the indicator log hypothesis).

The pelagic environment is characterized by its extension, homogeneity, lack of refuge and highly limited food availability. The majority of pelagic fish species form schools as a strategy to avoid predators, using the group as a refuge, and to increase the detection of food (Pitcher and Parrish, 1993). However, schools, which are made up of a few individuals, and non-schooling species, both of which develop effective strategies to avoid predators, may find refuge below a drifting object (Hunter and Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Feigenbaum et al., 1989). This protection seems to be more important during the most vulnerable stages of development (postlarvae and juvenile). Many species have developed mimetic coloring during these stages in order to be less perceptible among the drifting algae or floating objects colonized by barnacles. Hunter and Mitchell (1967) pointed out that the body color of fish species that remain close to drifting objects is darker than that of the species located at a greater distance from the devices or which associate in an intermittent way. The species that remain close to the devices are yellow, brown or black (e.g., *Abudefduf saxatilis*, *Psenes pacificus*, *P. Cyanophrys*, *Caranx* spp., *Blenniulus brevispinnis*, *Lobotes pacificus*, etc), coinciding with the colors of drifting algae (Hunter and Mitchell, 1967; Dooley, 1972). The juveniles of many of the aggregated species have several dark bars (sometimes irregular and broken), on a yellowish background (e.g., *Seriola* spp., *Schedophilus ovalis*, etc), which imitate the color acquired by the floating algae, around which the juveniles of these species aggregate. The juveniles of *Kyphosus sectator* have many white spots on a dark background, in mimesis with barnacles and the light and shade patterns generated in the mass of drifting algae when observed from bottom to top.

Table 1. Hypothesis which attempts to explain the aggregative behaviour of fish around floating objects

1. Protection from predators.	Gooding & Magnuson, 1967; Hunter & Mitchell, 1968; Hunter, 1968; Mitchell & Hunter, 1970; Feigenbaum et al., 1989; Rountree, 1989
2. Availability of food.	Gooding & Magnuson, 1967
3. Reference point for fish.	Hunter & Mitchell, 1967; Hunter, 1968; Klima & Wickham, 1971; Wickham & Russell, 1974; Holland et al., 1990
4. Visual stimulus in an optical void.	Hunter & Mitchell, 1967; Klima & Wickham, 1971
5. Meeting point.	Dagorn et al., 1995; Freón & Dagorn, 2000
6. Schooling companion.	Hunter & Mitchell, 1967; Klima & Wickham, 1971
7. Substitute of the sea bed species not adapted to a pelagic life.	Hunter & Mitchell, 1967
8. Negative phototropic response of fish to shadows.	Gooding & Magnuson, 1967
9. Spawning substrates.	Gooding & Magnuson, 1967
10. Cleaning stations.	Gooding & Magnuson, 1967
11. Resting areas (comfort state).	Batalyants, 1993

Naucrates ductor also has black bars against a light silver background which Murray and Hjort (1912) already associated with a mimetic function in relation to drifting objects. Generally, when juvenile fish of these aggregated species reach the adult phase, and become independent of the floating object, this mimetic coloring disappears (*N. ductor* is an exception to this rule).

The larvae and juvenile of many fish species are recruited under floating objects (gelatinous zooplankton, algae and drifting objects) when these objects are located in coastal waters. Growth occurs while the fish drift along with these objects (Hunter and Mitchell, 1967; Kingsford, 1993, 1995) within a mass of water with adequate oceanographic characteristics (Shanks, 1983; Kingsford and Choat, 1986). The sensorial and motor systems of larvae and juvenile fish allow them to respond to the floating structure and remain close to it (Marliave, 1986; Kingsford and Choat, 1989). During this period, floats may act as a substitute for a reef or any other substrate for fish of non-pelagic habits, until they reach the size necessary to integrate into the adult habitat (Kingsford and Choat, 1989).

Most natural drifting objects (e.g., algae, branches of trees) are introduced into the pelagic environment and transported by sea currents from places where the objects are generated (e.g., river estuaries, mangrove swamps, coastal areas). Normally, it is assumed that the sea currents transport planktonic production from the areas where it is generated toward the oligotrophic zones, thereby enriching the latter (Vinogradov, 1983; Hall, 1992; Binet and Marchal, 1993; Bakum, 1993;

Rodríguez et al., 1999; Barton et al., 1998). The concentration of drifting structures of biological origin is frequently intensified by oceanographic phenomena, such as convergence currents or fronts (Hunter and Mitchell, 1967; Hall, 1992; Kingsford, 1993; Konev, 1993; Kingsford, 1995), and as Kingsford (1993) suggests, one consequence of the presence of floating structures in the ocean, altering and changing the nature of the pelagic system, is the redistribution of food. So, fish aggregated to drifting structures may obtain food by preying on invertebrates associated with these objects, but also may obtain the advantages of drifting movements into the convergences where planktonic food is accumulated (Nash et al., 1987; Fedoryako, 1982; Hall, 1992; Kingsford, 1993). This is where the data obtained by Ibrahim et al. (1996) is of relevance. They found that fish caught at the FADs do not feed on the organisms encrusting the devices but rather on organisms (phytoplankton and zooplankton) present in the water.

Thus, the drifting objects may be a vehicle used for the dispersion of eggs, larvae and juveniles toward other areas (Hunter, 1968; Parker and Tunnicliffe, 1994; Kingsford, 1995; Tanaka and Oozeki, 1996), and a way of increasing chances of survival in the early stages of life. This may explain the courtship/spawning behaviour observed in some species near FADs (Hunter and Mitchell, 1968; Tanaka and Oozeki, 1996; Castro et al., 1999), since a floating object is synonymous with "rich" areas.

Why do fish associate to floating objects?

The fish fauna which associate with floating structures are mainly migrant species, principally tuna and dolphinfish. These species remain in the vicinity of floats for hours or days (Holland et al., 1990; Cayré, 1991; Fréon and Dagorn, 2000), and do not show a strict dependence on the floating structures. The reasons motivating the association of several fish species to floating structures may be diverse in nature and there have been many hypotheses about them (Hunter and Mitchell, 1967; Hunter, 1968; Klima and Wickham, 1971; Wickham and Russell, 1974; Holland et al., 1990, etc.). All these hypotheses can be included in the "meeting point hypothesis" (Dagorn et al., 1995; Fréon and Misund, 1999; Dagorn and Fréon, 1999; Fréon and Dagorn, 2000) which suggests that floating objects act as landmarks which help tuna to form large schools. However, Fréon and Dagorn (2000) have recently proposed the "meeting point" hypothesis as a general explanation for the fish aggregation/association phenomenon, despite the fact that the species that school in adult stages represent less than 10% of the species recorded around floats (Table 2). Thus, this would seem to be an adequate explanation for a particular group of species, the tunas, rather than a general hypothesis. This hypothesis considers that tuna may make use of floating objects to increase the encounter rate between isolated individuals or small schools and other schools. It relies on the supposition that tuna can detect floating objects from further away than they can detect other fish and that floating objects are less numerous than tuna schools. This might be a mechanism for isolated fish or small schools which are under the "optimal size" (Sibly, 1983; Pitcher and Parrish, 1993) to gather and form larger schools. Fréon and Dagorn (2000) extend the "meeting point" hypothesis to associations of tuna with drifting objects or slowly moving mammals, anchored FADs or bottom related features and to fast-moving mammals.

Otherwise, Hunter and Mitchell (1970) and Wickham et al. (1973) have suggested that the trophic attraction of the biomass of baitfish aggregated under floating structures may be another reason for the association of large fish, but it is difficult to explain how this small biomass can feed the large shoals of tuna concentrated around the FADs (Fontenau, 1982). However, we should not rule out the consequences of the selfish behaviour of each individual (Hamilton, 1971) to find food for itself which, in the long run, creates a snowball effect. In this way, Holland et

al. (1990) pointed out that tunas that hunted in the vicinity of FADs paid a high price for this behaviour when compared to those that visited the nearby reefs the point that they lose weight. This was due to the fact that the amount of food available near the FADs was much less than that available on the reefs. The proportion of individuals with stomachs that are either empty or contain little food was significantly higher in fish caught around FADs than those caught at a distance from the devices (Brock, 1985). In opposition to this is the hypothesis proposed by Batalyants (1993), based on the fact that tuna caught at floating devices had stomachs crammed full of fish and squid not associated with floating objects. This suggests that tuna leave the floats to hunt at night and noon, and return to the float to rest in the early morning and afternoon. Fonteneau (1992) and Batalyants (1993) also reported that the stomach contents of tuna and other species caught close to the FADs revealed oceanic species from greater depths than those at which FADs are found. Likewise, Holland et al. (1990) and Cayré (1991) observed that tuna tend to remain associated with FADs during the day (between 50 to 250 m depth), move away at night, and return the next morning. In this way, Fréon and Dagorn (2000) suggested that tuna might benefit only from the "meeting point" effect when closely associated with a floating object, and benefit only from the "indicator log" effect when foraging several miles away from the FAD.

Another motive (closely related to the juvenile aggregation theory), which may explain the association of adult fish to floating objects, is that drifting floats may act as indicators of good spawning sites for the dispersion of eggs to other areas (Hunter, 1968; Parker and Tunnicliffe, 1994; Kingsford, 1995; Tanaka and Oozeki, 1996). The hypothesis that some fish species may use floating objects for depositing their eggs was probably first proposed by Besednov (1960). There have been several observations of courtship/spawning behaviour around floating structures (Hunter and Mitchell, 1968; Castro et al., 1999). It is also common to find eggs of flying fish and *Cololabis saira* attached by filament to floating objects (Oxenford et al., 1993; Tanaka and Oozeki, 1996), and larvae of 32 species have been obtained in a much higher abundance near floats than in the surrounding open waters (Kingsford, 1992, 1993; 1995; Kingsford and Choat, 1989). Moreover, as we argued previously, if the water masses which transport the floats also transport available food for the future larvae and early

Table 2. Ichthyofauna reported to be at some time aggregated/associated to drifting floating structures (algae, jellied zooplankton, whales, flotsam) or man made fish aggregating devices (FADs)

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
CARCHARHINIDAE					
<i>Carcharhinus azureus</i>	D	o	A	S	59
<i>Carcharhinus falciformis</i>	BP	a, F	A	S	29, 125
<i>Carcharhinus limbatus</i>	RA	o	A	S	59
<i>Carcharhinus longimanus</i>	P	o, F	A	S	7, 33, 32, 125
<i>Prionace glauca</i>	P	F	A	S	18
LAMNIDAE					
<i>Isurus</i> sp.	P	F	A	S	125
MOBULIDAE					
<i>Mobula hypostoma</i>	P/RA	F	A	S/G	125
	P	F	A	G	76
SPHYRNIDAE					
<i>Sphyrna</i> sp.	P/RA	F	A	S	124, 131
<i>Sphyrna lewini</i>	P	F	A	S	9
AMBASSIDAE					
<i>Ambassis</i> sp.	D	a	L/J	-	30
<i>Priopidichthys marianus</i>	D	o	L	-	30
<i>Velambassis jacksoniensis</i>	D	a	-	-	30
AMMODYTIDAE					
	D	o	J	G	69
ANOPLOPOMATIDAE					
<i>Anoplopoma fimbria</i>	D	a	J	-	70, 97
<i>Erelepis zonifer</i>	D	a	J	-	119
ANTENNARIIDAE					
<i>Histrio histrio</i>	P	a	J/A	S	1, 14, 29, 30, 33, 35, 119
APOGONIDAE					
	D	o	-	-	69
<i>Apogon imberbis</i>	D	o	J	G	114
ARRIPIDAE					
	P	a	J	G	69
ATHERINIDAE					
	P	o, a	L	G	30, 69, 70
BALISTIDAE					
<i>Balistes carolinensis</i>	D	o, a, F	J/A	S	14, 18, 26, 27, 28, 29, 91, 98, 108, 114
<i>Balistes polylepis</i>	D	o	J	S	59
<i>Canthidermis macrocerus</i>	-	a	J	-	98
<i>Canthidermis maculatus</i>	P	a, o, F	J/A	G	14, 29, 32, 33, 59, 79, 80, 82, 96
<i>Canthidermis pullus</i>	-	a	J	-	98
<i>Canthidermis sufflamen</i>	RA	a, o, F	J/A	S	14, 29, 32, 33, 98, 133
<i>Canthidermis villosus</i>	-	o	-	-	33
<i>Melichthys niger</i>	RA	F	J	-	133
<i>Xanthichthys ringens</i>	RA	a	J	S/G	29
BELONIDAE					
	P	o	J	G	30, 69
<i>Tylosurus acus</i>	P	a	-	G	29
BLENNIDAE					
<i>Aspidontus filamentosus</i>	RA	o	-	S	33
<i>Aspidontus taeniatus</i>	RA	a	J	S	30

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
<i>Dasson trossulus</i>	—	da	—	—	33
<i>Gilloblennius</i> spp.	RA	a	L	S	30
<i>Hypsoblennius brevipinnis</i>	RA	o	J/A	S	59
<i>Hypsoblennius gentilis</i>	D	a	J/A	S	97
<i>Omobranchus anolius</i>	D	a	J	S	30
<i>Parablennius sanguinolentus</i>	D	o, F	J	S	27, 28, 114
<i>Parablennius tentacularis</i>	D	F	L/J	S	28
<i>Paralipophrys trigloides</i>	D	o	J	S	114
<i>Petroscirtes lupus</i>	D	a	J	S	30
<i>Scartella cristata</i>	D	F	J	S	27, 28
BOTHIDAE	B	a	J	S	30
BREGMACEROTIDAE	BP	o	J	G	69
CALLIONYMIDAE	B	o	J	S	69
CAPROIDAE					
<i>Capros aper</i>	D	o	J	G	114
CARANGIDAE <i>Alectis crinutus</i>	RA	F	J	S	133
<i>Atule mate</i>	P	j, F	J	G	62, 88
<i>Carangoides ferdau jordani</i>	P	j	J	G	88
<i>Caranx bartholomaei</i>	RA	a, j, F	J	G	9, 14, 29, 33, 35, 98, 117, 118, 122
<i>Caranx caballus</i>	P	o	J/A	G	33, 59
<i>Caranx crysos</i>	RA	a, j, F	J	G	9, 13, 14, 26, 29, 117, 118, 122
<i>Caranx djedaba</i>	RA	j	J	G	88
<i>Caranx hemiqymnostethus</i>	RA	F	A	G	79, 82
<i>Caranx hippos</i>	BP	o, a, F	J	G	14, 29, 33, 59, 130
<i>Caranx latus</i>	RA	a, F	J	G	14, 133
<i>Caranx melampygus</i>	P	j	J	G	88
<i>Caranx rhonchus</i>	BP	F	J	G	26
<i>Caranx ruber</i>	RA	a, F	J	G	9, 29, 33, 34, 98, 117, 118, 122, 130
<i>Caranx sexfasciatus</i>	P	o, F	J	G	32, 33, 59
<i>Chloroscobrus chrysurus</i>	D	j	J	G	14, 88
<i>Decapterus macarellus</i>	P	a, o, F	J	G	9, 29, 33, 133
<i>Decapterus maruadsi</i>	P	a, F	J/A	G	61, 102
<i>Decapterus punctatus</i>	P	a, F	J/A	G	29, 76, 96, 117, 118, 122, 130, 131
<i>Decapterus tabl</i>	P	a	J	G	29
<i>Elagatis bipinnulata</i>	P	o, a, F	J	G	9, 14, 29, 32, 33, 80, 96, 122, 125
<i>Lichia amia</i>	P	F	J	G	26
<i>Hemicaranx amblyrhynchus</i>	BP	j	J	G	88
<i>Megalaspis cordyla</i>	P	F	A	G	82
<i>Naucrates ductor</i>	RA	o, a, j, F	J/A	G/S	18, 26, 27, 32, 33, 79, 98
<i>Neptomenus crassus</i>	—	j	J	—	88
<i>Pantolabus radiatus</i>	P	j	J	—	88
<i>Pseudocaranx dentex</i>	RA	a, F	J	G	18, 29, 35
<i>Selar crumenophthalmus</i>	RA	o, a, F	J/A	G	9, 11, 29, 33, 35, 59
<i>Selaroides leptolepis</i>	P	j	J	G	88
<i>Seriola aureovittata</i>	—	F	A	G	79, 82
<i>Seriola carpenteri</i>	BP	F	J	S/G	18

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
<i>Seriola dorsalis</i>	—	a	J/A	S	36, 96
<i>Seriola dumerilii</i>	RA	o, a, F	J/A	S/G	14, 26, 27, 32, 33, 35, 114, 122
<i>Seriola fasciata</i>	D	a, F	J	S/G	14, 29, 91
<i>Seriola lalandi</i>	P	a, F	J/A	G	7, 70, 95
<i>Seriola purpurascens</i>	RA	F	J	G	79, 82
<i>Seriola quinqueradiata</i>	D	a, F	J	G	33, 79, 82, 119
<i>Seriola rivoliana</i>	RA	o, a, F	J/A	S/G	14, 29, 32, 33, 59, 98
<i>Seriola zonata</i>	BP	a, j, F	J	—	14, 29, 63, 88, 98, 118
<i>Trachurus declivis</i>	BP	j	J	G	88
<i>Trachurus japonicus</i>	D	a, j	J	G	33, 119
<i>Trachurus lathami</i>	BP	j, F	J	G	29, 33, 88, 118
<i>Trachurus novaezelandiae</i>	P	j	J	G	88
<i>Trachurus mediterraneus</i>	P	o, j, F	J	G	27, 88, 114
<i>Trachurus picturatus</i>	BP	o, F	J	G	18, 27, 108, 114
<i>Trachurus symmetricus</i>	P	a, j	J/A	G	84, 88, 97
<i>Trachurus trachurus</i>	P	o, j, F	J	G	27, 88, 114
<i>Uraspis helvola</i>	BP	F	J/A	G	79, 82
CENTRACANTHIDAE					
<i>Centrocanthus cirrus</i>	D	o, F	L/J	J	28, 114
CENTROLOPHIDAE					
<i>Centrolophus niger</i>	BP	j, F	J/SA	S/G	27, 28, 88
<i>Centrolophus</i> sp.	BP	a	J	S/G	35
<i>Hyperoglyphe bythites</i>	P	a	J	S	35
<i>Hyperoglyphe japonica</i>	BP	a	J	S	119
<i>Hyperoglyphe perciformis</i>	P	o	J	S/G	69
<i>Icichthys lockingtoni</i>	P	j	J	S	88
<i>Schedophilus maculatus</i>	P	j	J	S	33, 88
<i>Schedophilus medusophagus</i>	P	o, j	J	S	88, 114
<i>Schedophilus ovalis</i>	D	o, j, F	J/SA	S	18, 27, 88, 91, 108, 114
<i>Tubbia tasmanica</i>	D	j	J	S	88
CHANIDAE					
	—	o	J	G	69
CLINIDAE					
	RA	a	L	S	70
<i>Heterostichus rostratus</i>	D	o, a	J	S	57, 97
CLUPEIDAE					
<i>Amblygaster sirm</i>	P	F	—	G	111
<i>Harengula jaguana</i>	P	F	J	G	76, 122
<i>Hyperlophus vittatus</i>	P	o	L	G	30
<i>Sardinella aurita</i>	P	a, F	L/J/A	G	28, 29, 76, 117, 118, 130, 131
<i>Sardinella fimbriata</i>	P	F	—	G	25
<i>Sardinella gibbosa</i>	P	F	—	G	111
<i>Sardinops neopilchardus</i>	P	o	L	G	30
<i>Sardinops sagax</i>	P	a	J	G	70
<i>Spratelloides robustus</i>	P	a	L	G	30
CORYPHAENIDAE					
<i>Coryphaena equiselis</i>	P	o, F	J/A	G	18, 32, 33, 59, 79, 82, 94
<i>Coryphaena hippurus</i>	P	o, w, a, F	J/A	G	7, 11, 14, 18, 27, 97, 98, 114

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
COTTIDAE	B/D	a, o	L	-	69, 70
<i>Scorpaenichthys marmoratus</i>	D	a	J	S	97
CYCLOPTERIDAE	B/D	a	J	S	69
DACTYLOPTERIDAE	B/RA	o	J	S	30
DIODONTIDAE					
<i>Chilomycterus antennatus</i>	RA	a	J	S	14
<i>Chilomycterus schoepfi</i>	RA	a	J	S	14
<i>Diodon holocanthus</i>	RA	a	J	S	14, 29
<i>Diodon hystrix</i>	RA	a, F	J	S	29, 98, 133
<i>Diodon</i> sp.	RA	a	J	S	33
ECHENEIDAE					
<i>Phtheichthys lineatus</i>	P	o, a	J	S	33, 98
<i>Remora remora</i>	P	o	A	S/G	33
EMBIOTOCIDAE					
<i>Brachyistius frenatus</i>	D	a	J	S/G	97
EMMELICHTHYDAE	BP	a	J	G	69
ENGRAULIDAE					
<i>Engraulis australis</i>	P	a	J	G	30
<i>Engraulis encrasicolus</i>	P	F	L/J	G	27
<i>Engraulis japonicus</i>	P	a	J	G	119
EPHIPPIDAE					
<i>Chaetodipterus faber</i>	RA	F	J/A	G	117, 118
EXOCOETIDAE					
<i>Cheilopogon heterurus</i>	P	a	E/J/A	S	29, 33
<i>Cheilopogon furcatus</i>	P	a	-	S	29
<i>Cypselurus oligolepis</i>	P	o	-	S	33
<i>Cypselurus opisthopus</i>	P	o	J	S	33
<i>Cypselurus poecilopterus</i>	P	o	-	S	33
<i>Exocoetus obtusirostris</i>	P	a	-	-	29
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	RA	F	J	G	133
<i>Hemiramphus</i> sp.	P/RA	F	J	G	44
<i>Hirundichthys affinis</i>	P	a	-	G	29
<i>Parexocoetus brachypterus</i>	P	a, o	-	S	29, 33
<i>Prognichthys brevispinnis</i>	P	o	-	S	33
GADIDAE	BP/D	j	L/J	G	69
<i>Gadus macrocephalus</i>	D	j	J	G	88
<i>Gadus morhua</i>	BP	j	J	G	88
<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	D	j	J	G	88
<i>Merlangius merlangus</i>	BP	j	E/J	G	88
<i>Micromesistius potassou</i>	BP	F	L	G	91
GALAXIIDAE	D	a	J	-	69
GASTEROSTEIDAE					
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	BP	a	J	S/G	33, 119

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
GEMPYLIDAE					
<i>Promethichtys prometheus</i>	BP	F	-	S	80
GERREIDAE					
<i>Gerres ovatus</i>	RA	a	L	G	30
GOBIESOCIDAE					
<i>Gobiesox eugrammus</i>	D	a	J	S	97
GOBIIDAE					
	B	o, a	L/J	S	30, 69
GONOSTOMATIDAE					
	P	o	-	-	69
HAEMULIDAE					
	D	o	J	G	11
HEMIRAMPHIDAE					
<i>Hemiramphus balao</i>	RA	a	J	G	29
<i>Hemiramphus lutkei</i>	D	o	J	-	33
HEXAGRAMMIDAE					
<i>Hexagrammos agrammos</i>	D	a	J	G	33, 119
HOLOCENTRIDAE					
	RA	o	J	S	69
<i>Sargocentron vexillarius</i>	D	a	J	S	14
INERMIIDAE					
<i>Inermia vittata</i>	RA	F	-	G	133
ISTIOPHORIDAE					
	P	o	A	-	69
<i>Istiophorus platypterus</i>	P	F	A	G	131
<i>Makaira nigricans</i>	P	F	A	S	96
<i>Tetrapturus angustirostris</i>	P	F	A	-	96
<i>Tetrapturus audax</i>	P	F	A	G/S	96
KYPHOSIDAE					
<i>Girella nigricans</i>	D	j, o, a	J/A	G	8, 88, 97
<i>Girella punctata</i>	BP	a, F	J	G	33, 79, 80, 82, 119
<i>Kyphosus analogus</i>	BP	o	J	G	59
<i>Kyphosus cinerascens</i>	RA	o, F	J	G	33, 99
<i>Kyphosus elegans</i>	BP	o	J	G	59
<i>Kyphosus incisor</i>	RA	a	J/A	G	98
<i>Kyphosus lembus</i>	RA	F	J	G	79, 82
<i>Kyphosus sectator</i>	RA	a, o, F	J	G	18, 29, 32, 33
<i>Kyphosus</i> sp.	RA	o	J	G	59
<i>Medialuna californiensis</i>	D	o, a	J/A	S	37, 70, 97
<i>Microcanthus strigatus</i>	RA	a	J	G	30
<i>Scorpius</i> sp.	D	a	J	G	30
<i>Sectator ocyurus</i>	P	o, F	J/A	G	58, 59
LABRIDAE					
	RA	a, o	J	S/G	30, 69
<i>Clepticus parrai</i>	RA	F	-	G	133
LOBOTIDAE					
<i>Lobotes surinamensis</i>	P	a, o, F	J/A	S	14, 29, 33, 59, 91, 98, 114

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
LOTIDAE					
<i>Brosme brosme</i>	D	j	J	S/G	88
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	D	o	J	-	114
LUTJANIDAE					
<i>Lutjanus</i> sp.	-	F	J	-	118
<i>Lutjanus lutjanus</i>	RA	F	-	G	62
<i>Lutjanus sanguineus</i>	RA	F	-	-	62
<i>Ocyurus chrysurus</i>	RA	F	-	G	133
<i>Ocyurus japonicus</i>	-	F	-	-	82
<i>Rhomboplites aurorubens</i>	D	a	J	G	14
MACRORAMPHOCIDAE					
<i>Macrorhamphosus scolopax</i>	BP	j, F	J	G	28, 33, 88
<i>Macrorhamphosus</i> sp.	BP	a	J	G	29
MERLUCIIDAE					
<i>Merluccius bilinearis</i>	D	j	J	G	88
MICRODESMIDAE					
<i>Mola mola</i>	P	a	A	S	97
MONACANTHIDAE					
<i>Aluterus heudelotii</i>	D	a	J	-	14, 29, 98
<i>Aluterus monoceros</i>	RA	a, o, F	J/A	S	29, 33, 59, 79, 82, 117, 118
<i>Aluterus schoepfi</i>	D	a	J	S	14, 29, 98
<i>Aluterus scriptus</i>	RA	a, o, F	J/A	S	29, 32, 33, 59, 79
<i>Amanses howensis</i>	RA	F	A	S	82
<i>Cantherhines dummerli</i>	RA	o	J	S	33
<i>Cantherhines macrocerus</i>	RA	a	J	Pa	29
<i>Cantherhines pardalis</i>	RA	o	-	S	33
<i>Canthidermis pullus</i>	RA	a	J	-	29
<i>Monacanthus ciliatus</i>	RA	a	J	-	14, 29, 98
<i>Monacanthus</i> spp.	RA	a	-	-	98
<i>Monacanthus tuckeri</i>	RA	a	J	-	29, 98
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	D	a, F	J	S, Pa	33, 79, 119
<i>Stephanolepis hispidus</i>	D	a, j, F	J/A	S, Pa	14, 29, 33, 35, 98, 116, 117, 118, 122
<i>Stephanolepis setifer</i>	D	a	J/A	-	29
<i>Thamnaconus modestoides</i>	RA	a	J	-	119
MONODACTYLIDAE					
<i>Moridae</i>	BP	a, j	-	-	69
MUGILIDAE					
<i>Agonostomus monticola</i>	P	o	L	S	59
<i>Liza argentea</i>	P	F	L	G	30
<i>Liza carinata</i>	P	a	J	-	119
<i>Mugil curema</i>	RA	a, o	L/J	G	29, 59
MULLIDAE					
<i>Mullus auratus</i>	D	a	J	-	14

Table 2. Continued

FAMILY <i>Species</i>	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
<i>Mullus surmuletus</i>	D	o, F	J	G	28, 114
<i>Parupeneus signatus</i>	D	a	J	-	30
<i>Pseudopeneus grandisquamis</i>	D	o	J	G-	59
<i>Pseudopeneus maculatus</i>	RA	a	J	-	14
<i>Upeneus parvus</i>	D	a	J	-	29
MURAENIDAE					
<i>Gymnothorax</i> sp.	RA	o	J	S	30
MYCTOPHIDAE					
<i>Ceratoscopelus maderensis</i>	P	o	J	G	30, 69
	P	F	J	G	28
NEMIPTERIDAE					
	-	o	-	-	69
<i>Nemipterus peronii</i>	D	F	-	-	62
<i>Pentapodus setosus</i>	RA	F	-	-	62
NOMEIDAE					
<i>Cubiceps gracilis</i>	P	j	J/A	-	88
<i>Cubiceps</i> sp.	P	F	J	G-	32
<i>Nomeus gronovi</i>	P	j	J	G-	33, 88
<i>Psenes arafurensis</i>	BP	j	J	-	88
<i>Psenes cyanophrys</i>	P	j, a, o, F	J/A	-	14, 29, 32, 33, 59, 82, 88, 94
<i>Psenes maculatus</i>	P	j	J/A	-	88
<i>Psenes pellucidus</i>	BP	j, o	J	-	88, 114
<i>Psenes whiteleggi</i>	BP	j	J	G-	88
OPLEGNATHIDAE					
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	BP	a, F	J	-	33, 79, 82, 119
<i>Oplegnathus punctatus</i>	RA	a, F	J	-	79, 82, 119
OSTRACIIDAE					
	D	o	J	S/G	69
<i>Lactophrys quadricornis</i>	-	F	-	-	133
<i>Lactophrys triqueter</i>	R/A	F	-	S/G	133
PHOLIDAE					
<i>Enedrias nebulosus</i>	BP	a	J	-	33, 119
PHYCIDAE					
<i>Urophycis chuss</i>	D	j	J	G	88
<i>Urophycis floridana</i>	D	a	J	G	14
<i>Urophycis</i> sp.	-	j	J	G	88
PINGUIPEDIDAE					
	D	o	J	-	69
PLATACIDAE					
<i>Platax pinnatus</i>	RA	F	J	S	79, 82
PLOTOSIDAE					
	D/RA	a	-	-	33, 69
POLYNEMIDAE					
<i>Polydactylus approximans</i>	D	o	J	G-	59
<i>Polydactylus opercularis</i>	D	o	J	-	59
POMACENTRIDAE					
<i>Abudefduf saxatilis</i>	RA	a, o	J	S	29, 33, 35, 59, 98

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
<i>Abudefduf taurus</i>	RA	a	J	S	35
<i>Abudefduf vaigiensis</i>	RA	a, F	J	S	30, 79, 82, 102, 119
<i>Chromis atrilobata</i>	RA	o	J	G	59
<i>Chromis chromis</i>	RA	F	L/J	G	27
<i>Chromis punctipinnis</i>	RA	a	L/J	S/G	69, 97
POMATOMIDAE					
<i>Pomatomus saltator</i>	P	a	J	G	30
PRIACANTHIDAE					
<i>Pristigenys alta</i>	RA	a	J	S	14, 29, 98
RACHYCENTRIDAE					
<i>Rachycentron canadum</i>	RA	F	A	S	118, 122, 131
SCARIDAE					
<i>Leptoscarus vaigiensis</i>	D	o	J	–	67
<i>Scarus guacamaia</i>	RA	F	–	S/G	133
SCOMBEROSOCIDAE					
<i>Cololabis saira</i>	P	a	E	G	119, 124
<i>Scomberesox saurus</i>	P	o, F	J/A	G	28, 114
SCOMBRIDAE					
<i>Acanthocybium solandri</i>	P	o, F	A	S	11, 33, 34, 104
<i>Auxis rochei</i>	P	F	L	G	28
<i>Auxis thazard</i>	P	o, F	J/A	G	33, 59, 79, 82, 125
<i>Euthynnus affinis</i>	P	F	–	G	96
<i>Euthynnus alletteratus</i>	P	F	J/A	G	34, 122, 131
<i>Euthynnus lineatus</i>	P	w, o	J/A	G	47, 59
<i>Katsuwonus pelamis</i>	P	w, o, F	J/A	G	11, 16, 18, 19, 32, 33, 107
<i>Rastrelliger kanagurta</i>	P	F	–	G	25
<i>Scomber australasicus</i>	P	o	J	G	30
<i>Scomber japonicus</i>	P	a, j, F	J	G	18, 33, 97, 131
<i>Scomber scombrus</i>	P	F	J	G	27
<i>Scomberomorus cavalla</i>	D	a, F	J/A	G	14, 118, 131, 133
<i>Scomberomorus maculatus</i>	P	F	J	G	122, 131
<i>Scomberomorus regalis</i>	RA	F	–	G	9, 34, 131
<i>Thunnus alalunga</i>	P	a, o, F	L/J/A	G	18, 28, 36, 125
<i>Thunnus albacares</i>	P	w, o, F	A	G	11, 16, 19, 33, 34, 42, 107
<i>Thunnus atlanticus</i>	P	F	–	G	34
<i>Thunnus obesus</i>	P	w, o, F	J/A	G	11, 47, 96, 107, 108, 125
<i>Thunnus thynnus</i>	P	o, F	J/A	G	26, 27, 80, 82, 91, 114
SCORPAENIDAE					
<i>Scorpaenichthys marmoratus</i>	B	a	J	S	70
<i>Sebastes caurinus</i>	B	o	–	S	53
<i>Sebastes diploproa</i>	B	a	L/J	S	70, 97
<i>Sebastes inermis</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes nigrocinctus</i>	B	o	–	S	53
<i>Sebastes paucispinis</i>	RA	a	J	S	97
<i>Sebastes rubrivinctus</i>	B	a	J	S	97

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
<i>Sebastes schlegeli</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes serranoides</i>	RA	a	J	S	97
<i>Sebastes serriceps</i>	B	a	L/J	S	70, 97
<i>Sebastes taczanowski</i>	B	a	J	S	119
<i>Sebastes thompsoni</i>	B	a	J	S	101, 119
<i>Sebastes vulpes</i>	B	a	J	S	119
SERRANIDAE					
<i>Ephinephelus areolatus</i>	RA	F	-	S	62
<i>Paralabrax clathratus</i>	BP	a	L/J	-	70, 97
<i>Polyprion americanus</i>	D	o, F	J/SA	S	27, 91, 108, 114
SILLAGINIDAE					
<i>Sillago ciliata</i>	D	a	L	G	30
SPARIDAE					
<i>Acanthopagrus australis</i>	RA	a, j	L	G	30
<i>Boops boops</i>	D	F	J	G	18
<i>Diplodus puntazzo</i>	BP	o	J	G	114
<i>Pagellus acarne</i>	BP	o	J	G	114
<i>Pagellus bogaraveo</i>	BP	F	L/J	G	27, 91
<i>Pagrus pagrus</i>	RA	o	J	S/G	114
<i>Rhabdosargus sarba</i>	D	a, j	L	-	30
SPHYRAENIDAE					
<i>Sphyraena</i> sp.	RA	a, o	J	G/S	30
<i>Sphyraena argentea</i>	P	F	-	G	96
<i>Sphyraena barracuda</i>	RA	F	A	G/S	9, 32, 34, 122, 131, 133
<i>Sphyraena genia</i>	-	F	A	-	9
<i>Sphyraena viridensis</i>	RA	F	J	G	18
STROMATEIDAE					
<i>Peprilus aepidotus</i>	P	j	J	G	88
<i>Peprilus simillimus</i>	P	j	J	G	88
<i>Peprilus triacanthus</i>	P	j	J	G	88
<i>Stromateus fiotola</i>	P	j	J	G	88
SYNGNATHIDAE					
<i>Hippocampus erectus</i>	RA	a, o	J	S/Pa	69, 70
<i>Hippocampus erectus</i>	RA	a	A	S	14
<i>Oostethus lineatus</i>	-	a	-	S	14
<i>Syngnathus californiensis</i>	D	a	A	S	97
<i>Syngnathus floridae</i>	D	a	A	S	29
<i>Syngnathus louisianae</i>	D	a	A	S	14, 29
<i>Syngnathus pelagicus</i>	P	a	A	S	14, 29, 33, 35
<i>Syngnathus schlegeli</i>	D	a	J	S	14, 33, 119
<i>Syngnathus springeri</i>	D	a	J/A	S	14
<i>Syngnathus</i> sp.	-	a	-	S	70
<i>Syngnathus typhle</i>	D	o	J	S	114
<i>Stigmatopora argus</i>	-	a	J	S	30
TERAPONIDAE					
<i>Pelates quadrilineatus</i>	P	a	J	+	30
<i>Terapon theraps</i>	D	o	J	-	33

Table 2. Continued

FAMILY Species	Habitat Type	Float/ FAD	Adult/ Juvenile	Group/ Solitary	Reference (no. of order of citation)
TETRADONTIDAE					
<i>Arothron firmamentum</i>	P	a	-	-	102
<i>Sphoeroides</i> sp.	D	a	-	S	29
TETRAGONURIDAE					
<i>Tetragonurus atlanticus</i>	P	j	J	-	88
<i>Tetragonurus cuvieri</i>	P	j	J	G	88
TRIGLIDAE					
	D	o	J	-	30
TRIPTERYGIIDAE					
	RA	a, o	J	-	30, 69
XIPHIIDAE					
<i>Xiphias gladius</i>	P	a, F	J	S	29, 125
ZAPRORIDAE					
<i>Zaprora silenus</i>	D	j	J	-	88

D = demersal, P = pelagic, B = benthic, BP = benthopelagic, RA = reef associate, E = eggs, L = larvae, J = juvenile, SA = subadult, A = adult, S = adult solitary, Pa = adults in pairs, G = adult in groups or schools, o = drift object, a = drift algae, j = jellyfish or gelatinous zooplankton, w = turtles, whale shark, dolphins, whales, human being, cattle, etc., F = FAD.

juvenile fish (Barton et al., 1998), adult fish look for floating objects because they are a synonymous with rich trophic areas.

Fish species which aggregate/associate under floats

The abundance of several fish species found under or close to floating objects is an order of magnitude, or more, than that in comparative volumes of open water (Kingsford, 1992; Druce and Kingsford, 1995). Although tuna and dolphinfish have motivated the development of fish aggregating devices and their use in industrial and sport fishing (Wickham et al., 1973; Holland et al., 1990; Cayré et al., 1991; Hall and García, 1992; Fréon and Dagorn, 2000), in terms of diversity, there is no doubt that the carangids are the fish species most frequently found aggregated/associated under floating objects (carangids represent 14.4% of all recorded species around floats while scombrids, marlins and dolphinfish together represent only 7.5%; Table 2). In addition to the carangids, the most representative species are those belonging to the families Scombridae, Sphyraenidae, Mullidae, Mugilidae, Monacanthidae and Balistidae (Kingsford, 1993; Druce and Kingsford, 1995). While juveniles of carangids, monacanthids and balistides may be considered typical of aggregated ichthyofauna,

tuna and dolphin fish represent typical associated ichthyofauna.

In the literature, we have found records of 333 species of fish belonging to 96 families which at some time may be aggregated/associated with floating structures (drifting algae, jellied zooplankton, whales, floats and FADs), although the majority (80%) of them are present at juvenile stages (Table 2). However, according to Kingsford (1993), sufficient evidence with respect to the presence of these species only exists for less than 20 of these families.

Rhythms of aggregation and association of the fish fauna

Apparently, the main factor which determines the composition of fish fauna and their abundance is the season of the year (Lukens, 1981; Stephan and Lindquist, 1989; Fonteneau, 1992; Castro et al., 1999), since this dictates succession of the species: a result of the natural process of recruitment which regulates the availability of juveniles in each region (Rountree, 1990; Castro et al., 1999; Deudero et al., 1999). Seasonal changes are also observed in artificial reefs, where successive changes are frequently produced (Lindquist et al., 1995).

Floating structures undergo a process of maturation. Older floating devices have more submerged volume colonized by sessile organisms, such as algae, hydrozoans and crustaceans, and may sustain greater fish biomass. However, this does not seem to have a great influence on the aggregated/associated biomass, because the period of colonization of the FADs by fish is very short (a few hours after deployment at sea), before the sessile fauna is established. Kingsford (1992) and Druce and Kingsford (1995) observed that postlarvae and juveniles of species (especially *Trachurus* sp.) were attracted to experimental structures of algae after 3 and 5 hours of drifting. Bard et al. (1985) and Yu (1992) indicated that the colonization of a drifting floating object by tuna is also very fast (30–50 hours after setting the FAD). The diversity of fish species increases with the amount of time a drifting structure is available (Moser et al., 1998). This process has also been observed for anchored FADs (Castro et al. 1999).

It is probable that the duration of the period prior to colonization is closely related to the geographical location of the devices (Gooding and Magnuson, 1967; Hunter, 1968; Wickham et al., 1973; Workman et al., 1985). The location of FADs greatly influences the abundance and diversity of fish species which aggregate around them. The zenith of fish diversity and abundance is recorded when the devices are located near a natural reef (Hammond et al., 1977; Workman et al., 1985; Beets, 1989), because some associated species make incursions between the reef and the floats. The distance from the coast also influences the species and biomass aggregate/associate, as well as the number of fish caught around floating devices, with more baitfish and fish species being found around the offshore FADs (Wickham et al., 1973; Bortone et al., 1977; Feigenbaum et al., 1989; Castro et al., 1999).

The interval of time that a fish spends in one session under a floating structure (residence) is another matter of controversy. Hunter and Mitchell (1968), Hunter (1968) and Mitchell and Hunter (1970) observed that fish may aggregate around drifting or anchored floats for 8 to 32 consecutive days or longer, moving further away than their normal area/range of distribution while accompanying the drifting material. Castro et al. (1999), using video recording, registered that a pair of juvenile *Kyphosus sectator* and another pair of *Schendophilus ovalis* resided under a FAD for 4 and 2 months, respectively. This is also relevant for pelagic fish such as *Coryphaena*. Tagged individuals

may remain around a single FAD for hours to days (Kingsford and DeFries, 1999). The residence time of tuna around anchored FADs appears to be variable: from a few minutes to a few days (Hunter and Mitchell, 1968; Brock, 1985; Holland et al., 1990; Cayré, 1991).

Studies on fish residence have generally been made on anchored floating objects (FADs), and conclusions obtained from them can not be applied to drifting floats. Several studies show that the inhabitants of FADs are not residents but are recruited on a daily basis (Klima and Wickham, 1971; Wickham and Russell, 1974; Workman et al., 1985). Holland et al. (1990) and Cayré (1991) demonstrated that tuna have the ability to orient themselves and recruit each morning under the same FAD which acts as a reference point for the fish. Klimley and Holloway (1999) observed that they usually arrived at the same period of the day at a given FAD. At sunrise, nightfall and during the night, only a few fish were observed (Workman et al., 1985). Hong et al. (1996, 1997), using outdoor experimental tanks and FAD models, observed that juvenile *Trachurus japonicus* and *Seriola quinqueradiata* did not gather under devices at night. However, this latter data should be dealt with cautiously, given the difficulty of transferring results obtained in the laboratory to natural sea conditions.

However, if aggregated fish are not permanently recruited to the float, how are baitfish (postlarvae and juveniles) able to return to the same drifting object? It seems logical that, when the device is drifting, the juvenile fish will remain permanently recruited to the floats. In this sense, Hunter and Mitchell (1967) observed that the mean length of some species increased proportionate to the distance of flotsam from the shore, probably as a consequence of growth during drifting. This may be a significant behavioural characteristic which differentiates aggregated fish fauna from associated fish.

Generalization and conclusions

Many fish species display aggregative/associative behaviour with natural or artificial items located at the surface or subsurface (drifting or anchored). The larvae and juveniles of many fish species are recruited under floating objects when these are located in coastal waters, and grow while drifting with these objects (Hunter and Mitchell, 1967; Kingsford, 1993, 1995).

During this period, the floats may act as a substitute for a reef or any other substrate for fish of non pelagic habits, until they reach an adequate size to become incorporated into the adult habitat (Hunter and Mitchell, 1967; Kingsford and Choat, 1989).

Most natural drifting objects are introduced into the pelagic environment and carried by sea currents from coastal areas etc., where logs are generated. It is assumed that the sea currents transport the planktonic production from neritic areas, where it is generated, toward oligotrophic zones, thereby enriching the latter. Fish aggregated to drifting floating structures may benefit from drifting movements into the convergences where planktonic food is accumulated. The floating structures are used as indicators of favourable routes for egg and larvae dispersion. These vehicles of larval/juvenile dispersion also provide refuge, thus reducing the effectiveness of predators' attacks (Mitchell and Hunter, 1970), and producing food other than plankton in the surrounding mass of water.

However, not all the fish species use floating objects with the aim of increasing their larvae and juvenile survival, and not all the stages of species which always use floats have the same requirements. Other pelagic species, generally the great migrants such as tuna, may use floating objects as a landmark or "meeting point" to increase the encounter rate between isolated individuals or small schools and other schools of con-specifics thereby forming large schools to continue upon their migration routes (Fréon and Dagorn, 2000).

Acknowledgements

We are grateful to Silvia Hildebrandt and Margaret Hart for their suggestions and assistance in the correction of the English text.

References

(The number of alphabetic order of each citation correlate to references given in Table 2)

- Adams, J.A. (1960) A contribution to the biology and postlarval development of the *Sargassum* fish, *Histrio histrio* (Linnaeus), with a discussion of the *Da* complex. *Bull. mar. Sci. Gulf Caribb.* **10**, 55–82.
- Arenas, P., Hall, M. and García, M. (1992) The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. VI. Association of fauna with floating objects in the EPO. In: International workshop on fishing for tunas associated with

- floating objects (11–14 February 1992. La Jolla, California), 38 pp.
- Ariz, J., Delgado de Molina, A., Fonteneau, A., Gonzales Costas, F. and Pallarès, P. (1999) Logs and tunas in the eastern tropical Atlantic: A review of present knowledge and uncertainties. In: Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E. and Schaefer, K.M. (eds.), *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11–13, 1992, Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11*, La Jolla, California, pp. 21–65.
- Bakun, A. (1993) The California Current, Benguela Current, and Southwestern Atlantic Shelf ecosystems: A comparative approach to identifying factors regulating biomass yields. In: Sherman, K., L.M. Alexander and B.D. Gold (eds.), *Large Marine Ecosystems. Stress, mitigation, and sustainability*. AAAS Press, Washington, pp. 199–221.
- Bard, F.X., Stretta, J.M. and Slepoukha, M. (1985) Les épaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique: quel avenir?. *Pêche Marit.* **1291**, 655–659.
- Barton, E.D., Aristegui, J., Tett, P., Cantón, M., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escanez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M.F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J.M., Van Lenning, K., Vélez, H. and Wild, K. (1998) The transition zone of the Canary current upwelling system. *Prog. Oceanogr.* **41**(4), 455–504.
- Batalyants, K.Ya. (1993) On the hypothesis of comfortability stipulation of tuna association with natural and artificial floating objects (SCRS/92/45). *ICCAT Coll. Doc. Sci.* **40**(2), 447–453.
- Baxter, J.L. (1966) Inshore fishes of California. (3rd revision). *Calif. Dept. Fish Game, Species Booklet*, 80 p.
- Beets, J. (1989) Experimental evaluation of fish recruitment to combinations of fish aggregating devices and benthic artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.* **44**(2), 973–983.
- Besednov, L.N. (1960) Some data on the ichthyofauna of the Pacific Ocean drift object. *Trudy Inst. Okeanol.* **41**, 192–197.
- Biais, G. and Taquet, M. (1990) Dispositifs de concentration de poissons a la Reunion. *Equinoxe* **34**, 20–26.
- Binet, D. and Marchal, E. (1993) The large marine ecosystem of shelf areas in the Gulf of Guinea: Long-term variability induced by climatic changes. In: Sherman, K., L.M. Alexander and B.D. Gold (eds.), *Large Marine Ecosystems. Stress, mitigation, and sustainability*. AAAS Press, Washington, pp. 104–118.
- Böhlke, J.E. and Chaplin, C.C.G. (1968) *Fishes of the Bahamas and adjacent tropical waters*. Livingston Publ. Co., Wynnewood, Pennsylvania, 771 pp.
- Bortone, S.A., Hastings, P.A. and Collard, S.B. (1977) The pelagic-Sargassum ichthyofauna of the Eastern Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science* **1**(2), 60–67.
- Brock, R.E. (1985) Preliminary study of the feeding habits of pelagic fish around hawaiian fish aggregation devices or can fad enhance local fisheries productivity?. *Bull. Mar. Sci.* **37**(1), 40–49.
- Buckley, R.M., Itano, D.G. and Buckley, T.W. (1989) Fish aggregation device (FAD) enhancement of offshore fisheries in American Samoa. *Bull. Mar. Sci.* **44**(2), 942–949.
- 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), 445–449.
- Castro, J.J., Santiago, J.A. and Hernández-García, V. (1999) Fish associated with fish aggregation devices off the Canary Islands (Central-East Atlantic). In: Massutí, E. & B. Morales-Nin (eds.), *Biology and fishery of dolphinfish and related species. Sci. Mar.* **63**(3–4), 191–198.

- Cayré, P. (1991) Behavior of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADs) in de Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. *Aquat. Living Resour.* **4**, 1–12.
- Cayré, P. and Marsac, F. (1991) Report and preliminary results of the tagging programme of natural drift logs in the tuna purse seine fishery area of the Western Indian Ocean (SEAC/90/18). Collective volume of working documents presented at the 4th Southeast Asian Tuna Conference held in Bangkok, Thailand, 27–30 November 1990, pp. 125–133.
- Cayré, P., Kothias, J.B., Diouf, T. and Stretta, J.M. (1991) Biología de los atunes. *ICCAT Coll. Doc. Sci.* **37**, 169–291.
- 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.
- Dagorn, L., Stretta, J.M. and Petit, M. (1995) Etude théorique du phénomène d'aggregation des bancs de thons sous les objets flottants à partir d'un modèle de comportement grégaire des thons (SCRS/94/144). *ICCAT. Coll. Doc. Sci.* **44**(3), 295–307.
- de San, M. (1982) Fish aggregation devices or Payaos. South Pacific Commission 14th Regional Technical Meeting of Fisheries. 14/WP.1.5. Noumea, New Caledonia, 26 pp.
- de Sylva, D.P. (1982) Potential for increasing artisanal fisheries production from floating artificial habitats in the Caribbean. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.* **34**, 156–167.
- D'Anna, G., Badalamenti, F. and Riggio, S. (1999) Traditional and experimental floating fish aggregating devices in the Gulf of Castellammare (NW Sicily): results from catches and visual observations. In: Massutí, E. and B. Morales-Nin (eds.), *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* **63**(3–4), 209–218.
- Deudero, S.C. (1999) *Relaciones tróficas en las comunidades icticas asociadas a dispositivos agregadores de peces*. Mem. Tesis Doc., Univ. Illes Balears (Spain), 216 pp.
- Deudero, S.C., Merella, P., Morales-Nin, B., Massutí, E. and Alemany, F. (1999) Fish communities associated with FADs. In: Massutí, E. and B. Morales-Nin (eds.), *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* **63**(3–4), 199–207.
- Dooley, J.K. (1972) Fishes associated with the pelagic sargassum complex, with a discussion of the da community. *Contributions in Marine Science* (Publication of the Institute of Marine Science). Texas University 16, 1–32.
- Druce, B.E. and Kingsford, M.J. (1995) An experimental investigation on the fishes associated with drifting objects in coastal waters of temperate Australia. *Bull. Mar. Sci.* **57**(2), 378–392.
- Fedoryako, B.I. (1982) Langmuir circulation as a possible mechanism of formation of fish association around a floating objects. *Oceanology* **22**, 228–232.
- Fedoryako, B.I. (1988) Fish accumulations in the open ocean near stationary buoys. *J. Ichthyol.* **28**(4), 667–669.
- Fedoryako, B.I. (1989) A comparative characteristic of the oceanic fish assemblages associated with floating debris. *J. Ichthyol.* **29**(3), 128–137.
- Feigenbaum, D., Fridlander, A. and Bushing, M. (1989) Determination of the feasibility of fish attracting devices for enhancing fisheries in Puerto Rico. *Bull. Mar. Sci.* **44**(2), 950–959.
- Fine, M.L. (1970) Faunal variation on pelagic *Sargassum*. *Mar. Biol.* **7**, 112–122.
- Fitch, J.E. (1960) Offshore fishes of California (1st revision). *Calif. Dept. Fish Game, Species Booklet*, 80 p.
- Follett, W.I., Gotshall, D. and Smith, J.G. (1960) Northerly occurrences of the scorpion fish *Medialuna californiensis* (Steindachner), with meristic data, life history notes, and discussion of the fisheries. *Calif. Fish Game* **46**(2), 165–175.
- Fonteneau, A. (1992) Pêche thoniere et objets flottants: Situation mondiale et perspectives. In: Rapport de Synthèse sur Groupe de Travail IATTC "objets flottants et thons" présenté à la 12^{ème} Semaine des Pêches dos Açores, mars 1992: 31 pp.
- Friedlander, A., Beets, J. and Tobias, W. (1994) Effects of fish aggregating device design and location on fishing success in the U.S. Virgin Islands. *Bull. Mar. Sci.* **55**(2–3), 592–601.
- Fréon, P. and Misund, O.A. (1999) *Dynamics of pelagic fish distribution and behavior: effects on fisheries and stock assessment*. Blackwell Science, Oxford, 348 pp.
- Fréon, P. and Dagorn, L. (2000) Review of fish associative behaviour: Toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **10**(2), 183–207.
- Frusher, S.D. (1986) Utilization of small-scale fish aggregation devices by Papua New Guinea's artisanal fishermen. In: Maclean, J.L., L.B. Dizon and L.V. Hosillos (eds.), *Proceedings of the 1st Asian Fisheries Forum*, Manila, Philippines, 26–31 May 1986, pp. 371–374.
- Galea, J.A. (1961) The "Kannizzati" fishery. *Proceedings and Technical Papers of the General Fisheries Council for the Mediterranean* **6**, 85–91.
- Gomes, C., Mahon, R., Singh-Renton, S. and Hunte, W. (1994) The role of drifting objects in pelagic fisheries in the Southeastern Caribbean. *CARICOM Fish. Res. Doc.* **15**, 1–36.
- Gooding, R.M. and Magnuson, J.J. (1967) Ecological significance of a drifting object to pelagic fishes. *Pac. Sci.* **21**, 486–497.
- Greenblatt, P. R. (1979) Associations of tuna with objects in the Eastern tropical Pacific. *Fish. Bull.* **77**(1), 147–155.
- Hall, M. (1992) The association of tuna with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. VII. Some hypotheses on the mechanisms governing the associations of tunas with floating objects and dolphins. In: International workshop on fishing for tunas associated with floating objects (11–14 February 1992. La Jolla, California), 6 pp.
- Hall, M. and García, M. (1992) The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific Ocean. IV: Study of repeated sets on the same object. In: International workshop on fishing for tunas associated with floating objects (11–14 February 1992. La Jolla, California), 16 pp.
- Hall, M., Lennert-Cody C., García, M. and Arenas, P. (1999) Characteristics of floating objects and their attractiveness for tunas. In: Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E. and Schaefer, K.M. (eds.), *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11–13, 1992, Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report **11**, 396–446. La Jolla, California.
- Hamilton, W.D. (1971) Geometry for the selfish herd. *J. theor. Biol.* **31**, 295–311.
- Hammond, F.L., Myatt, D.O. and Cupka, D.M. (1977) Evaluation of midwater structures as a potential tool in the management of the fisheries resources on South Carolina's artificial fishing reefs. *S. Carolina Mar. Res. Center Tech. Rept. Ser.* **15**, 1–19.
- Higashi, G.R. (1994) Ten years of fish aggregating device (FAD) design development in Hawaii. *Bull. Mar. Sci.* **55**(2–3), 651–666.
- Hitz, C.R. (1961) Occurrence of two species of juvenile rockfish in Queen Charlotte Sound. *Jour. Fish. Res. Bd. Canada* **18**(2), 279–281.
- Holland, K., Brill, R. and Chang, R.K.C. (1990) Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fish. Bull.* **88**(3), 493–507.
- Hong, S.W., Okamoto, M., Imai, T. and Fuwa, S. (1996) Effect of fish aggregating devices (FAD) for gathering juvenile

- Japanese horse mackerel *Trachurus japonicus*. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* **60**(4), 356–362.
- Hong, S.W., Okamoto, M., Imai, T., Fuwa, S. and Kubota, K. (1997) Effect of FAD (fish aggregating devices) for gathering juvenile yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* **63**(2), 194–200.
- Hubbs, C.L. (1920) Protective coloration and habits in the kelp-fish *Heterostichus rostratus*. *Copeia* **80**, 19–20.
- Hunter, J.R. (1968) Fishes beneath flotsam. *Sea Frontiers* **14**, 280–288.
- Hunter, J.R. and Mitchell, C.T. (1967) Association of fishes with flotsam in the offshore waters of Central America. *Fish. Bull.* **66**(1), 13–29.
- Hunter, J.R. and Mitchell, C.T. (1968) Field experiments on the attraction of fish to floating objects. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* **31**, 427–434.
- Ibrahim, S., Kawamura, G. and Ambak, M.A. (1990) Effective range of traditional Malaysian FADs as determined by fish-releasing method. *Fish. Res.* **9**, 299–306.
- Ibrahim, S., Ambak, M.A., Shamsudin, L. and Samsudin, M.Z. (1996) Importance of fish aggregating devices (FADs) as substrates for food organisms of fish. *Fish. Res.* **27**, 265–273.
- Johnson, G.D. (1978) development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. IV. Carangidae through Ephippidae. *U.S. Fish Wild. Serv., Biol. Serv. Prog., FWS/OBS-71/12*, 314 pp.
- Josse, E. (1992) Different ways of exploiting tuna associated with fish aggregating devices anchored in french polynesia. Background document for the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11–13 1992, La Jolla, CA. Available from Inter-American Tropical Tuna Commission, 8604 La Jolla Shores Dr, La Jolla, CA 92037. (mimeo), 18 pp.
- Josse E., Bertrand A. and Dagorn L. (1999) An acoustic approach to studying tuna aggregated around fish aggregating devices in French Polynesia: methods and validation. *Aquat. Living Resour.* **12**, 303–313.
- Kihara, Y. (1981) Fishery based on the payao method in The Philippines. *Suisan Sekai* **30**, 78–84.
- Kimura, M., Morii, Y., Kuno, T., Nishida, H., Yoshimura, H., Akishige, Y. and Senta, T. (1998) Flotsam ichthyofauna in the tropical waters of the west Pacific Ocean. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.* **79**, 9–20.
- Kingsford, M.J. (1992) Drift algae and small fish in coastal waters of north eastern New Zealand. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **80**(1), 41–55.
- Kingsford, M.J. (1993) Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: Importance to small fishes. *Bull. Mar. Sci.* **53**(2), 393–415.
- Kingsford, M.J. (1995) Drift algae: a contribution to near-shore habitat complexity in the pelagic environment and an attractant for fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **116**, 297–301.
- Kingsford, M.J. (1999) Fish attraction devices (FADs) and experimental designs. In: Massutí, E. and B. Morales-Nin (eds.), *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* **63**(3–4), 181–190.
- Kingsford, M.J. and Choat, J.H. (1986) Influence of surface slicks on the distribution and onshore movements of small fish. *Mar. Biol.* **91**, 161–171.
- Kingsford, M.J. and Choat, J.H. (1989) Horizontal distribution patterns of presettlement fish: are they influenced by the proximity of reefs?. *Mar. Biol.* **100**, 285–297.
- Kingsford, M.J. and DeFries, A. (1999) The ecology and fishery for *Coryphaena* spp. in waters around Australia and New Zealand. *Sci. Mar.* **63**(3–4), 267–275.
- Kitamado, T. and Kataoka, C. (1996) A study for the realization of sustainable fisheries. A case of Payang fishery in the southern coast of west Jawa, Indonesia. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.* **77**, 117–126.
- Klima, E.F. and Wickham, D.A. (1971) Attraction of coastal pelagic fishes with artificial structures. *Trans. Am. Fish. Soc.* **100**, 86–99.
- Klimley, A.P. and Holloway, C.F. (1999) School fidelity and timing synchronicity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Mar. Biol.* **133**, 307–317.
- Kojima, S. (1956) Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea – II. Why do the fish take shelter under floating materials? *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **21**(10), 1049–1052.
- Kojima, S. (1960a) Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea – V. Species of fishes attracted to bamboo rafts. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **26**(4), 379–382.
- Kojima, S. (1960b) Fishing for dolphins in the Western part of the Japan Sea – VI. Behaviors of fish gathering around bamboo rafts. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **26**(4), 383–388.
- Kojima, S. (1966) Studies on fishing conditions of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Western regions of the Japan Sea – XI. School of dolphins accompanying various kinds of flotages. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **32**(8), 647–651.
- Kojima, S. (1967) Studies on fishing conditions of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the Western Regions of the Sea of Japan – XIII. "Tsukegi" as a source of food for dolphins. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **33**(4), 320–324.
- Konev, A.F. (1993) On the connection between floating objects on the ocean surface and formation of large tuna schools. In: Yakovlev, V.N., E.V. Romanov, N.A. Lebedeva, Yu.K. Trushyn, I.G. Timokhin, B.G. Trotsenko and V.V. Korkosh (eds.), *Resources of tunas and related species in the world ocean and problems of their rational utilization*. Kerch, Ukraine 1–5 June 1992, pp. 71–72.
- Limbaugh, C. (1955) Fish life in the kelpbeds and effects of da harvesting. *Univ. Calif. Inst. Mar. Resources*. Ref. **55–9**, 1–58.
- Lindquist, D.G., Ogburg, M.V., Stanley, W.B., Troutman, H.T. and Pereira, S.M. (1995) Fish utilization patterns on temperate rubble-mound jetties in North Carolina. *Bull. Mar. Sci.* **37**, 244–251.
- Longman, 1984. Longman Webster English College Dictionary. Longman Group limited, London. 1876 pp.
- Lukens, R.R. (1981) Ichthyofaunal colonization of a new artificial reef in the northern Gulf of Mexico. *Gulf Res. Rep.* **7**, 41–49.
- Mansueti, R. (1963) Symbiotic behavior between small fishes and jellyfishes, with new data on that between the stromateid, *Pepilus alepidotus*, and the scyphomedusa, *Chrysaora quinquecirrha*. *Copeia* **1963**, 40–80.
- Marliave, J.B. (1986) Lack of planktonic dispersal of rocky intertidal fish larvae. *Trans. Am. Fish. Soc.* **115**, 149–154.
- Marsac, F. and Stequert, B. (1986) La peche des thons autour d'epaves ancrees dans l'Ocean Indie. *Pêche Marit.* **66**(1311), 439–446.
- Massutí, E. (1997) Biology of *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Coryphaenidae) in the Western Mediterranean. Mem. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears (Spain). 169 pp.
- Massutí, E. and Reñones, O. (1994) Observaciones sobre la comunidad de peces pelágicos asociados a objetos flotantes en aguas oceánicas de Mallorca. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* **10**(1), 81–93.
- Massutí, E. and Vidal, S. (1997) *La llampuga: un mite de la tardor*. Edicions Documenta Balear. Palma de Mallorca. 195 pp.
- Mathews, J. and Butcher, T. (1983) FAD research in New South Wales. *Austral. Fish.* **42**(6), 49–51.

- Mathews, C.P., Monintja, D. and Naamin, N. (1996) Studies of Indonesian tuna fisheries, part 2: Changes in yellowfin abundance in the Gulf of Tomini and North Sulawesi. In: Shomura, R.S., J. Majkowski and R.F. Harman (eds.), *Status of Interactions of Pacific tuna fisheries in 1995. Proceeding of the 2nd. FAO Expert Consultation on the Interactions of Pacific Tuna Fisheries*. Shimizu, Japan, 23–31 January 1995. *FAO Fish. Tech. Pap.* **365**, 298–305.
- Matsumoto, W.M., Kazama, T.K. and Aasted, D.C. (1981) Anchored fish aggregating devices in Hawaiian waters. *Mar. Fish. Rev.* **43**(9), 1–13.
- Mitchell, C.T. and Hunter, J.R. (1970) Fishes associated with drifting kelp, *Macrocystis pyrifera*, off the coast of Southern California and Northern Baja California. *Calif. Fish and Game* **56**(4), 288–297.
- Moser, M.L., Auster, P.J. and Bichy, J.B. (1998) Effects of mat morphology on large *Sargassum*-associated fishes: observations from a remotely operated vehicle (ROV) and free-floating video comcorders. *Env. Biol. Fish.* **51**, 391–398.
- Mortensen, T. (1917) Observations on protective adaptation and habits, mainly in marine animals. In: Papers from Dr. Th. Mortensen's Pacific Expedition 1914–1916. *Vidensk. Medd. Dansk Naturhist. Foren.* **69**, 57–96.
- Murray, J. and Hjort, J. (1912) *The depths of the ocean: a general account of the modern science of oceanography based largely on the scientific researches on the Norwegian steamer Michael Sars in the North Atlantic*. MacMillan & Co. Ltd., London, xx + 821 pp.
- Nagasawa, T. and Kobayashi, T. (1995) The early life history of the rockfish, *Sebastes thompsoni* (Scorpaenidae), in the Sea of Japan. *Jap. J. Ichthyol.* **41**(4), 385–396.
- Nakata, H., Takeuchi, H. and Hirano, T. (1988) A field experiment with drifting hoop nets collect the small fish gathering around drift algae. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **54**(11), 1899–1906.
- Nash, R.D.M., Magnuson, J.J., Clay, C.C. and Stanton, T.K. (1987) A synopsis view of the Gulf Stream Front with 70 kHz sonar: taking advantage of a closer look. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **44**, 2022–2024.
- Oxenford, H., Mahon, R. and Hunte, W. (eds.) (1993) The eastern Caribbean flyingfish project. OECs: Cane Garden (St. Vincent and the Grenadines). *OECs fishery report*. Kingstown **9**, 171 pp.
- Parker, T. and Tunnicliffe, V. (1994) Dispersal strategies of the biota on an oceanic seamount: Implications for ecology and biogeography. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole* **187**(3), 336–345.
- Parin, N.V. and Fedoryako, B.I. (1999) Pelagic fish communities around floating objects in the open ocean. In: Scott, M.D., Bayliff, W.H., Lennert-Cody, C.E. and Schaefer, K.M. (eds.), *Proceedings of the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, February 11–13, 1992, Inter-American Tropical Tuna Commission Special Report 11, La Jolla, California, pp 447–458.
- Pereira, J. (1996) Tuna schools in the Azores (SCRS/95/122). *ICCAT Coll. Doc. Sci.* **45**(3), 236–247.
- Pinho, M.R. and Pereira, J. (1996) Anchored fish aggregating devices in Azorean waters (SCRS/95/121). *ICCAT Coll. Doc. Sci.* **45**(3), 229–235.
- Pitcher, T.J. and Parrish, J.K. (1993) Functions of shoaling behavior in teleosts. In: Pitcher, T.J. (ed.), *Behavior of teleost fishes*, 2nd ed. Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 7. London, pp. 363–439.
- Pollard, D.A. and Matthews, J. (1985) Experience in the construction and siting of artificial reefs and fish aggregation devices in Australian waters, with notes on and a bibliography of Australian studies. *Bull. Mar. Sci.* **37**(1), 299–304.
- Potier, M., Petitgas, P. and Petit, D. (1997) Interaction between fish and fishing vessels in the Javanese purse seine fishery. *Aquat. Living Resour.* **10**(3), 149–156.
- Potoschi, A. (1996) Studio sulla pesca, la consistenza delle risorse e la biologia di *Coryphaena hippurus* L. 1758 nei mari siciliani con particolare riferimento al Tirreno Meridionale ed allo Ionio. III Piano Triennale della Pesca Marittima e dell'Acquacoltura in Acque Marine e Salmatre (ricerche della Legge 41/82). Università degli studi di Messina.
- Preston, G. (1982) The Fijian experience in the utilization of fish aggregation devices. *South Pacific Commission Technical Report/Fisheries* 14/WP 25. Noumea, New Caledonia. 61 pp.
- Riera, F., Grau, A., Grau, A.M., Pastor, E., Quetglas, A. and Pou, S. (1999) Ichthyofauna associated with drifting floating objects in the Balearic Islands (western Mediterranean). In: Massut, E. and B. Morales-Nin (eds.), *Biology and fishery of dolphinfish and related species*. *Sci. Mar.* **63**(3–4), 229–235.
- Rodríguez, J.M., Hernández-León, S. and Barton, E.D. (1999) Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Deep Sea Res., Part 1, Oceanographic Research Papers* **46**(11), 1969–1984.
- Rountree, R.A. (1983) The ecology of *Stomoxys meleagus* and its fish symbionts. *J. Elisha Mitch. Sci. Soc.* **99**(4), 172 (abstract).
- Rountree, R.A. (1989) Association of fishes with fish aggregation devices: effects of structure size on fish abundance. *Bull. Mar. Sci.* **44**(2), 960–972.
- Rountree, R.A. (1990) Community structure of fishes attracted to shallow water fish aggregation devices off South Carolina, USA. *Env. Biol. Fish.* **29**, 241–262.
- Safran, P. and Omori, M. (1990) Some ecological observations on fishes associated with drifting seaweeds off Tohoku coast, Japan. *Mar. Biol.* **105**(3), 395–402.
- Shanks, A.L. (1983) Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shoreward. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **13**, 311–315.
- Sibly, R.M. (1983) Optimal group size is unstable. *Anim. Behav.* **31**, 947–948.
- Stephan, C.D. and Lindquist, D.G. (1989) A comparative analysis of the fish assemblages associated with old and new shipwrecks and fish aggregating devices in Onslow Bay, North Carolina. *Bull. Mar. Sci.* **44**(2), 698–717.
- Stretta, J.-M. and Slepoukha, M. (1986) Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de thons. In: Symons, P.E.K., Miyake, P.M. and Sakagawa, G.T. (eds.), *Proceedings of the ICCAT conference on the international skipjack year program*, ICCAT, Madrid, pp. 161–169.
- Tanaka, Y. and Oozeki, Y. (1996) Where are the eggs of the Pacific saury, *Cololabis saira*?. *Ichthyol. Res.* **43**(3), 329–333.
- Timokhin, I.G. and Korkosh, V.V. (1993) Fish concentrations near floating objects, their species composition and some features of their biology. In: Yakovlev, V.N., E.V. Romanov, N.A. Lebedeva, Yu.K. Trushyn, I.G. Timokhin, B.G. Trotsenko and V.V. Korkosh (eds.), *Resources of tunas and related species in the world ocean and problems of their rational utilization*. Kerch, Ukraine 1–5 June 1992, pp. 82–86.
- Uda, M. (1933) Types of skipjack schools and their fishing qualities: the shoals of 'katuwo' and their angling. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **2**, 107–111 (Transl. by W.G. van Campen, 1952, *U.S. Fish Wilds. Ser. Spec. Sci. Rep. Fish.* **83**, 68–78).

- van Pel, H. (1938) De beoefening van de majang zeevisscherij langs de noordkust van Java. *Meded. Inst. Zeevissch.*, Batavia **2B**, 101–113.
- Vinogradov, M.E. (1983) Open ocean ecosystem. In: Kinne, O. (ed.), *Marine-ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Vol. 5. Ocean management. Part. 2. Ecosystems and organic resources*, pp. 657–737.
- Viñuales-Solé, J. (ed.) (1996) *Los Etruscos amantes de la vida de Italia*. Vol. 1. Time Life Books Inc. Ediciones Folio, S.A., Barcelona, pp. 35.
- Wickham, D.A. and Russell, G.M. (1974) An evaluation of mid-water artificial structures for attracting coastal pelagic fishes. *Fish. Bull.* **72**(1), 181–191.
- Wickham, D., Watson, J. and Ogren, L. (1973) The efficacy of midwater artificial structures for attracting sport fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **3**, 563–673.
- Wilkins, R.M. and Goodwin, M.H. (1989) Progress report on the evaluation of fish aggregating devices for the eastern Caribbean. In: Waugh, G.T. and M.H. Goodwin (eds.), *Proceedings of the thirty ninth annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Hamilton, Bermuda*, Nov. 1986. **39**, 405–407.
- Workman, I.K., Landry, A.M.Jr., Watson, J.W.Jr. and Blackwell, J.W. (1985) A midwater fish attraction device study conducted from Hydrolab. *Bull. Mar. Sci.* **37**(1), 377–386.
- Yu, L.S. (1992) Characteristics of formation and behavior of associated aggregations of tunas in the Western Indian Ocean. Background document for the International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects, February 11–13 1992, La Jolla, CA. Available from Inter-American Tropical Tuna Commission, 8604 La Jolla Shores Dr, La Jolla, CA 92037 (mimeo), pp. 3.

