

## RESULTADOS DE LA ENCOMIENDA DE LA SGP AL IEO PARA EL ESTUDIO DEL ATUN ROJO (*THUNNUS THYNNUS*) DEL STOCK DEL ATLÁNTICO ESTE (QUE INCLUYE EL MEDITERRÁNEO) CONSIDERANDO LAS ALMADRABAS ESPAÑOLAS COMO OBSERVATORIOS CIENTÍFICOS

J. M. de la Serna\*, F. Abascal\*, J. M<sup>a</sup>. Ortiz\*, D. Godoy\*, E. Majuelos

### SUMMARY

*During the years of 2010-2012 was a research project bluefin tuna traps using Spanish as scientific laboratories. The main objective was to keep the knowledge of the tendency of the index of abundance of bluefin tuna caught with these nets, and it is the most significant index used in the stock assessment process East Atlantic, including the Mediterranean. Likewise studies were developed bluefin tuna biological parameters such as growth, feeding, reproduction, stock structure and migration patterns, the results provide an important advance in the understanding of the biology and behavior of this species.*

### RÉSUMÉ

*Entre 2010 et 2012, un projet de recherche sur le thon rouge a été mené dans le cadre duquel les madragues espagnoles ont servi de laboratoire scientifique. L'objectif principal consistait à maintenir la connaissance de la tendance de l'indice d'abondance du thon rouge capturé avec ces engins, étant donné qu'il s'agit de l'indice le plus significatif utilisé dans le processus d'évaluation du stock de l'Atlantique Est, comprenant la Méditerranée. De plus, des études sur les paramètres biologiques du thon rouge tels que la croissance, l'alimentation, la reproduction, la structure du stock et les schémas migratoires, dont les résultats présentés dans d'autres documents ont représenté une avancée importante dans la compréhension de la biologie et le comportement de cette espèce.*

### RESUMEN

*Durante los años de 2010 a 2012 se realizó un proyecto de investigación de atún rojo utilizando las almadrabas españolas como laboratorios científicos. El objetivo principal era mantener el conocimiento de la tendencia del índice de abundancia del atún rojo capturado con estos artes, ya que se trata del índice más significativo utilizado en el proceso de evaluación del stock del Atlántico este, que incluye el Mediterráneo. Así mismo se desarrollaron estudios sobre parámetros biológicos del atún rojo tales como el crecimiento, la alimentación, la reproducción, la estructura de stock y los patrones migratorios, cuyos resultados presentados en otros documentos aportarán un avance importante en el conocimiento de la biología y comportamiento de esta especie.*

### KEYWORDS

*Bluefin tuna, Research programme, Traps, Standardized catch rates, Biological parameters, Migrations*

---

\* Instituto Español de Oceanografía.

## **1. Introducción**

El presente trabajo se ha realizado mediante la cooperación y financiación de la Secretaría General del Mar (SGM) con la Organización de Productores Pesqueros de Almadrabas (OPP-51) y con la coordinación científica del Instituto Español de Oceanografía (IEO), por Recomendación del Comité Científico (SCRS) de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT)

## **2. Antecedentes**

Las almadrabas españolas han contribuido de forma muy activa a lo largo de décadas a las investigaciones sobre esta especie. Desde los tiempos de Rodríguez-Roda hasta la actualidad las almadrabas han mantenido estrechas y fructíferas colaboraciones científicas con diversas organizaciones y, específicamente, con el IEO. Sin embargo, estas colaboraciones y facilidades dadas históricamente por el sector almadrabetario español no se han visto plasmadas en convenios formalmente establecidos. Muchos científicos del SCRS de ICCAT, tanto de países del Atlántico como del Mediterráneo, entendieron desde hace décadas la importancia de las almadrabas como observatorio científico y algunos realizaron acciones de investigación en este sentido. Concretamente en el año 2006 propusieron ante el SCRS de ICCAT esta consideración formal de las almadrabas. Sin embargo, esta propuesta no quedó formalmente reflejada en los informes del SCRS por la negativa expresa de un país del Atlántico Oeste. Esta nueva oportunidad podría hacer realidad esas propuestas fundadas.

La posibilidad de realizar el presente estudio en las almadrabas permitiría continuar con una serie histórica de incalculable valor científico para evaluar el estado de los stocks, debido a las características artesanales de este arte, con muy pocas modificaciones durante cientos de años. En este sentido, el arte de almadraba puede considerarse como un observatorio científico ideal para realizar un seguimiento de las poblaciones. Por otra parte, la pesca en las almadrabas tiene lugar en una ventana espacio-temporal muy reducida, inmediatamente anterior al pico de puesta de la especie en el Mediterráneo, y constituye una oportunidad única para responder interrogantes sobre la biología de la especie, no resueltos hasta ahora y que son vitales para comprender la dinámica de las poblaciones.

## **3. Material y métodos**

### ***3.1 Captura, esfuerzo y liberaciones***

Obtención de los datos de captura de atún rojo por cada operación de pesca (“levantada”). Distribución de tallas de las capturas de esta especie mediante la obtención de la longitud LD1 obtenida con calibrador medida al medio centímetro anterior. Obtención de pares de valores de la talla y el peso vivo. Identificación del sexo de los ejemplares capturados. Obtención y procesamiento de, dos últimas vértebras, hígado, gónada, agallas y cabeza, entre otros. Todas las muestras fueron utilizadas siguiendo la metodología que se detalla en cada uno de los estudios biológicos que a continuación se detallan en cada uno de los objetivos programados. Los resultados de estos estudios han venido siendo presentados en otros documentos al SCRS de ICCAT. Una vez alcanzada la cuota destinada a estos artes se procedió a filmar con buzos provistos de cámara submarina las liberaciones de los excedentes de los cupos de cada una de las almadrabas.

## **4. Estructura de stock**

### ***4.1 Mercado electrónico***

En el marco de la Encomienda de Gestión de la SGM al IEO para el estudio del atún rojo (*Thunnus thynnus*) del stock este utilizando las almadrabas como laboratorios científicos de 2011 se han realizado actividades de marcado electrónico inicialmente previstas para 2010. En concreto, se ha realizado el marcado electrónico de 20 ejemplares adultos con marcas satélite pop-up y se han implantado 30 marcas internas (MK9). Se anotó la información sobre el lugar y fecha de marcado, el peso o longitud de los ejemplares, así como la fecha y posición de desprendimiento de la marca.

La mayor parte de los atunes fueron marcados en el agua, con la ayuda de un fusil de pesca submarina modificado, mientras que el marcado de los ejemplares restantes se realizó a bordo. El marcado de los ejemplares en el agua permite asegurar que el comportamiento de los animales no se verá alterado por el estrés asociado a la captura, mientras que el marcado a bordo contribuiría a mejorar la duración de los anclajes y proporcionaría información comparativa sobre modificaciones de comportamiento.

#### **4.2 *Marcado convencional***

Durante los años de estudio se procedió a realizar marcado convencional mediante el uso de pértigas a cargo de los buzos de cada almadraba. Las marcas de tipo spaghetti se aplicaron sobre atunes adultos cuyo peso aproximado era informado de forma aproximada por los buzo. Su utilidad radica en obtener información acerca de la abundancia y mortalidad además del conocimiento sobre la estructura de stock y tasa de mezcla.

### **5. Índices de abundancia estandarizados**

Uno de los objetivos prioritarios era el mantenimiento del índice de abundancia de las capturas de atún rojo por las almadrabas utilizado desde hace muchos años en el proceso de evaluación de stock.

En este sentido se controlaron todas las levantadas se muestrearon la mayor parte de los atunes capturados y se filmaron, para su conteo posterior, los atunes que fueron liberados cuando las almadrabas alcanzaron las cuotas asignadas.

### **6. Resultados**

#### **6.1 *Capturas, liberaciones y distribución de tallas de las capturas***

Se obtuvieron las capturas por almadraba para cada una de las operaciones de pesca (*“levantadas”*). Se contabilizaron mediante filmación submarina previa, el número de atunes liberados por almadraba y total para cada uno de los tres años de estudio (**Tabla 1**).

Así mismo se obtuvieron las distribuciones de tallas por almadraba y año y total para cada uno de ellos (**Figuras 1-15**).

#### **6.2 *Estudio de la estructura de stock y patrones migratorios en relación con las áreas de reproducción***

Las marcas electrónicas proporcionan gran cantidad de información. Debido a que algunas de las marcas han dejado de transmitir recientemente, y a que aún quedan varias marcas por transmitir, la gran parte de los datos generados están aún por procesar, fundamentalmente los relacionados con el comportamiento vertical de la especie.

##### **6.2.1 *Tiempos de retención***

Uno de los principales problemas del marcado electrónico pop-up en atún rojo en el Atlántico oriental y Mediterráneo es el del tiempo de retención de las marcas. Por ello, los objetivos fundamentales de este tipo de marcado está relacionado con la caracterización de la zona de puesta, así como la obtención de parámetros reproductivos de interés (principalmente duración de la época de puesta).

De los 20 ejemplares marcados, 3 aún no han transmitido, 1 transmitió durante un solo día y otro fue recapturado en una almadraba de Portugal y se está tramitando actualmente la recuperación de la marca.

De las marcas restantes, 4 se liberaron prematuramente (menos de 10 días). Aparentemente en 2 de los casos se debió a la muerte inmediata del pez, probablemente debido al estrés asociado a la captura del pez e izado a bordo, ya que fueron marcado en la cubierta del buque. Las marcas están programadas para que, en caso de detectarse una profundidad constante durante un tiempo determinado (por muerte del pez o liberación del anclaje), se liberen y comiencen a transmitir (**Figura 16**). En los otros dos casos, parece que se pudo deber a una mala inserción del anclaje, al realizarse esté con un fusil de pesca modificado.

### 6.2.2 Comportamiento horizontal

A pesar de que los peces podían llevar días estabulados, y a posibles efectos relacionados con el estrés del proceso de marcado, todos los ejemplares marcados en el presente estudio entraron en el Mediterráneo (**Figura 17**). Excepto uno de los peces, que llegó al Mar Tirreno en poco más de 20 días, cubriendo una distancia de casi 2000 kilómetros, y otro que llegó al sur de Cerdeña, las posiciones estimadas indican que los ejemplares marcados visitaron las zonas de puesta del Mediterráneo occidental exclusivamente. Algunos ejemplares marcados llegaron a zonas cercanas a Terranova y las Islas Azores.

El momento de entrada varió, fundamentalmente, en función de la fecha o tipo de marcado. Los ejemplares marcados a finales del mes de mayo y principios de junio entraron inmediatamente en el Mediterráneo (**Figura 18A**), produciéndose la salida de los peces en la segunda quincena del mes de junio, excepto un ejemplar que llegó a aguas cercanas a Cerdeña y comenzó el regreso en dirección al Estrecho de Gibraltar a comienzos de julio, liberándose la marca en el Mar de Alborán (**Figura 18b**).

De los 3 ejemplares marcados a mediados de junio y que ya han transmitido uno entró inmediatamente, permaneciendo los otros dos inicialmente en el área de la Bahía de Cádiz, uno durante 6 días y otro durante casi un mes (**Figura 18c**). Estos peces además permanecieron más tiempo en el área del Mar de Alborán (uno de los peces salió del Mediterráneo el 18 de julio, y los otros permanecieron en la zona hasta la liberación de la marca, el 30 de julio y el 13 de octubre) (**Figura 18d**).

### 6.2.3 Preferencias de hábitat y comportamiento vertical

El análisis preliminar de los registros de profundidad y temperatura, parecen indicar un comportamiento diferencial entre la zona de puesta y las zonas de migración o alimentación (**Figura 19**). Parece ser que, una vez que los peces pasan el Estrecho de Gibraltar (finales de junio en la **Figura 4**), los peces alcanzan profundidades mayores, evento probablemente relacionado con la alimentación en la capa de dispersión profunda.

Del mismo modo, se espera obtener información sobre el hábitat y duración de la época de puesta a través del análisis conjunto de los registros de profundidad con los datos de temperatura superficial y ambiente (**Figuras 20 y 21**). Las zonas de puesta están caracterizadas por registros más superficiales y mayores temperaturas. Se espera poder obtener información indicativa de otros factores desencadenantes de la puesta a través del análisis de la estructura vertical de la columna de agua.

A pesar del tamaño muestra reducido, y de que aún hay varias marcas por transmitir y analizar, los datos preliminares parecen indicar una relación fundamental entre los peces del Atlántico Oriental que migran a través del Estrecho de Gibraltar y las zonas de puesta más occidentales, al sur de las Islas Baleares, en detrimento de otras zonas de puesta putativas. Asimismo, estos datos parecen confirmar que la mayor parte de los ejemplares realizan una migración relativamente rápida hacia las zonas de puesta y de nuevo a las zonas de alimentación del Atlántico, no siendo frecuente la residencia en aguas Mediterráneas durante tiempo prolongado tras la época de freza.

Asimismo, se está obteniendo cuantiosa información relacionada con las preferencias de hábitat de la especie y, en particular sobre el hábitat de puesta. Esta información permitirá, entre otros, obtener los primeros datos fiables sobre la duración de la época de puesta individual. Estudios anteriores han proporcionado estimaciones de la fecundidad de lote y la frecuencia de puesta de la especie, siendo la duración de la época de puesta el único parámetro restante para obtener las primeras estimaciones del potencial reproductivo de la especie. Esta información tiene importancia vital no sólo para estimar el potencial reproductivo de los ejemplares (uno de los datos utilizados los análisis de productividad de las poblaciones) sino también para abordar técnicas de evaluación independientes de la pesquería (método de producción diaria de huevos).

Los datos comparativos entre ejemplares marcados mediante fusil y a bordo parecen confirmar las hipótesis iniciales. El marcado a bordo aumenta el tiempo de retención de las marcas, si bien parece influir en el comportamiento de los ejemplares durante los primeros días y aumentar la mortalidad. No obstante, conviene resaltar que el marcado a bordo se realizó alrededor de dos semanas después, por lo que las diferencias pueden estar relacionadas con el tiempo de estabulación de los ejemplares.

## 7. Índices de abundancia relativa

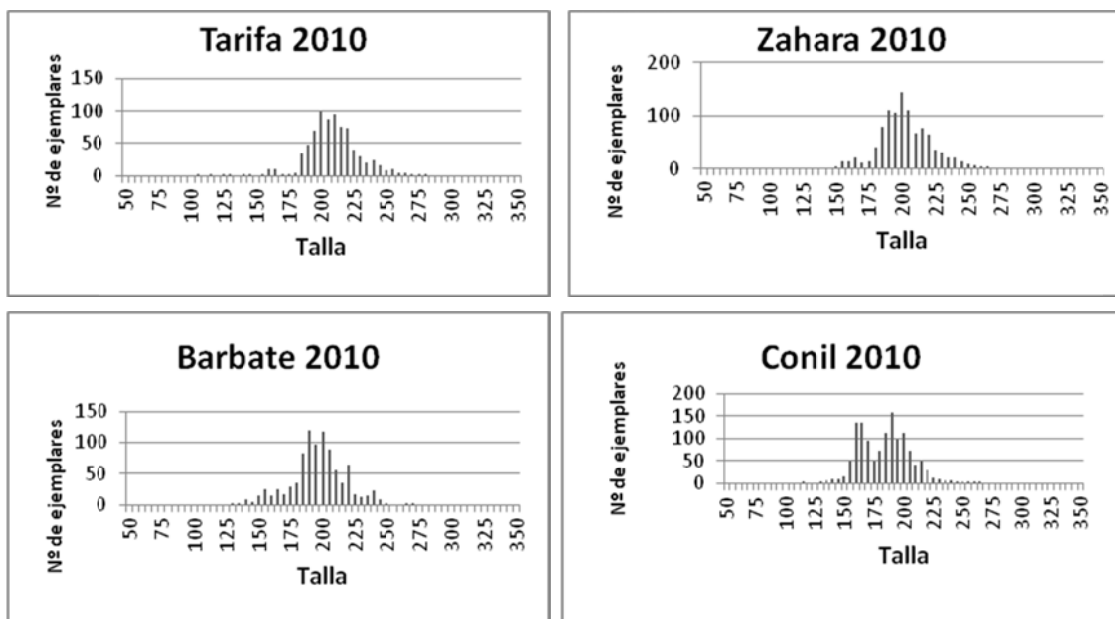
Los resultados obtenidos mediante análisis estandarizados del total de atunes capturados y liberados cada año por las cuatro almadrabas presenta una tendencia al alza para los tres últimos años lo que modula la tendencia decreciente observada en la serie de años anterior (**Tabla 2 y Figura 24**).

**Tabla 1.** Capturas y liberaciones de atunes rojos por almadraba y año (\*datos de jaulas).

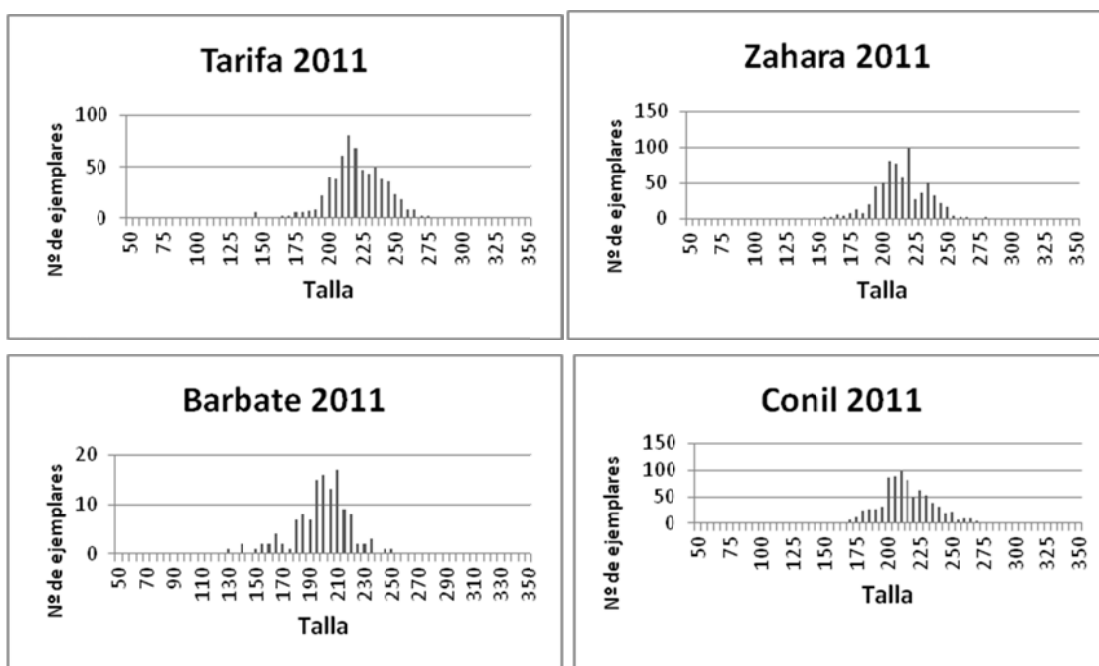
<i>Almadraba</i>	<i>Calado del copo</i>	<i>Nº levantadas</i>	<i>Nº atunes capturados</i>	<i>Peso total</i>	<i>Nº sueltas</i>	<i>Nº atunes liberados</i>	$\bar{W}$	<i>Leva del copo</i>
Tarifa	22/04/2010	8	783	154.519	1	2.750	197,34	21/06/2010
Zahara	19/04/2010	15	1474	265.312	2	1.100	180,10	20/06/2010
Barbate	27/04/2010	13	1393	241.504	3	5.200	173,36	30/06/2010
Conil	30/04/2010	13	1568	223.778	2	500	142,70	1/07/2010
Tarifa	20/04/2011	8	662	143.000	3	540	216,01	20/06/2011
Zahara	20/04/2011	13	880	181.000	9	1.870	205,68	20/06/2011
Barbate	20/04/2011	6/4*	276/1923*	443.000	1	>2.000	173,26	30/06/2011
Conil	20/04/2011	11	888	179.000	6	1.135	201,58	30/06/2011
Tarifa	20/04/2012	12	877	183.217	5	1.940	208,91	20/06/2012
Zahara	20/04/2012	17	1.181	220.889	8	3.105	187,04	20/06/2012
Barbate	20/04/2012	5/6*	131/3.077*	497.752	6	3.000	155,16	30/06/2012
Conil	20/04/2012	12	1.046	209.841	4	2.390	200,61	30/06/2012

**Tabla 2.** Valores de los índices de abundancia estandarizados.

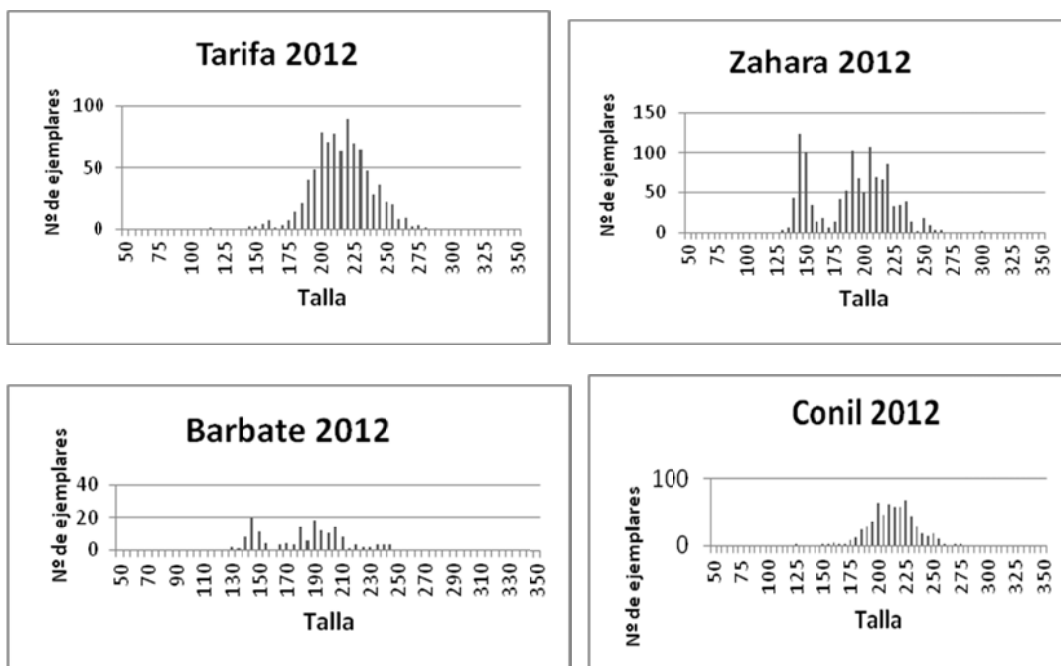
<b>año</b>	<b>índice</b>	<b>índice escalado</b>	<b>std. Error</b>	<b>C.V.</b>
<i>1981</i>	2938.285	1.000	895.832	30.488
<i>1982</i>	4016.700	1.367	705.812	17.572
<i>1983</i>	4214.369	1.434	740.484	17.570
<i>1984</i>	4630.867	1.576	813.538	17.568
<i>1985</i>	3146.512	1.071	553.180	17.581
<i>1986</i>	1126.108	0.383	174.875	15.529
<i>1987</i>	1504.805	0.512	233.325	15.505
<i>1988</i>	3414.587	1.162	528.088	15.466
<i>1989</i>	1835.198	0.625	284.319	15.493
<i>1990</i>	3818.314	1.300	590.401	15.462
<i>1991</i>	2003.033	0.682	310.224	15.488
<i>1992</i>	1830.442	0.623	283.585	15.493
<i>1993</i>	1690.712	0.575	262.019	15.498
<i>1994</i>	1616.049	0.550	250.495	15.500
<i>1995</i>	1168.719	0.398	181.452	15.526
<i>1996</i>	1774.745	0.604	274.989	15.495
<i>1997</i>	4841.522	1.648	748.326	15.456
<i>1998</i>	3279.201	1.116	507.192	15.467
<i>1999</i>	5879.509	2.001	908.532	15.453
<i>2000</i>	2649.329	0.902	409.975	15.475
<i>2001</i>	2116.197	0.720	327.690	15.485
<i>2002</i>	2962.041	1.008	458.240	15.470
<i>2003</i>	1323.006	0.450	233.332	17.637
<i>2004</i>	1309.296	0.446	203.149	15.516
<i>2005</i>	1548.883	0.527	240.128	15.503
<i>2006</i>	2131.261	0.725	330.015	15.484
<i>2007</i>	2591.514	0.882	401.052	15.476
<i>2008</i>	2281.041	0.776	353.132	15.481
<i>2009</i>	3657.589	1.245	565.594	15.464
<i>2010</i>	4969.206	1.691	768.033	15.456
<i>2011</i>	2921.184	0.994	451.934	15.471
<i>2012</i>	4506.661	1.534	696.642	15.458



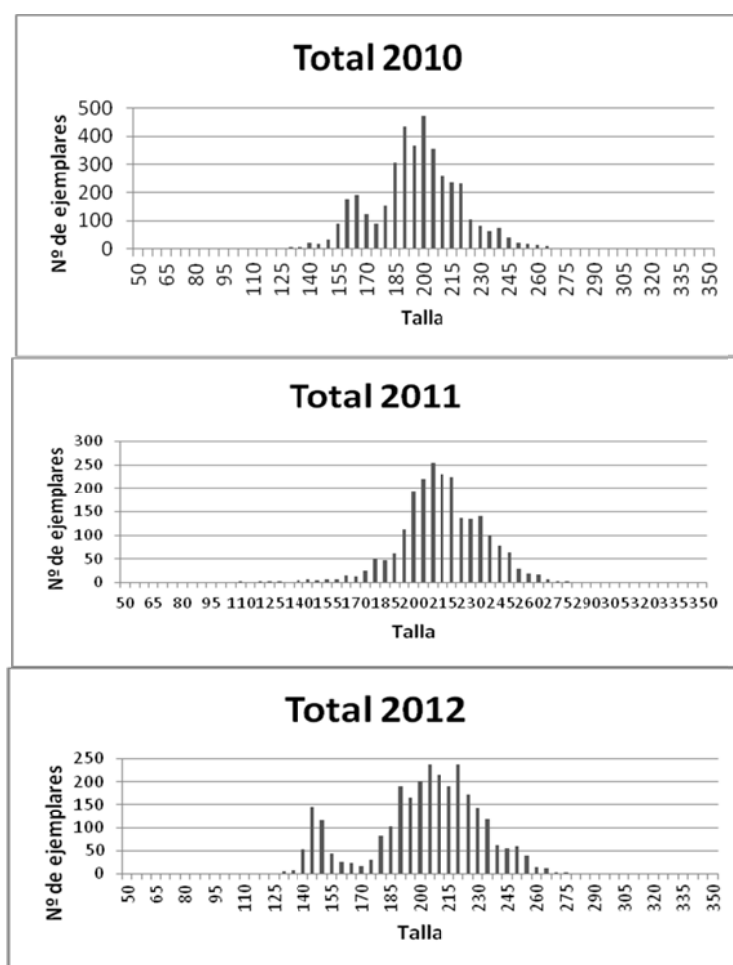
**Figuras 1-4.** Distribución de tallas de las capturas de atún rojo por almadraba para el año 2010.



**Figuras 5-8.** Distribución de tallas de las capturas de atún rojo por almadraba para el año 2011.

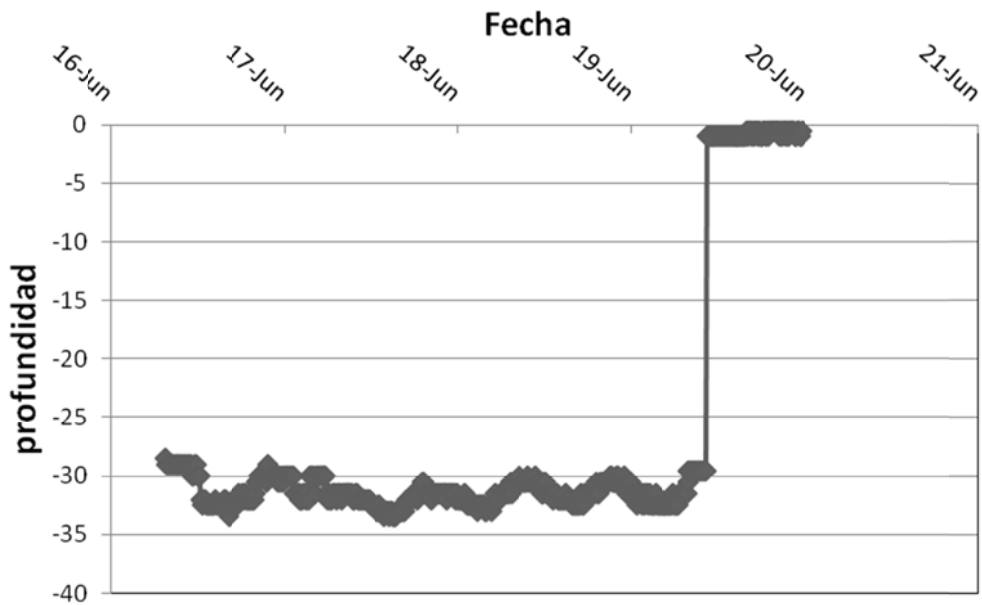


Figuras 9-12. Distribución de tallas de las capturas de atún rojo por almadraba para el año 2012.



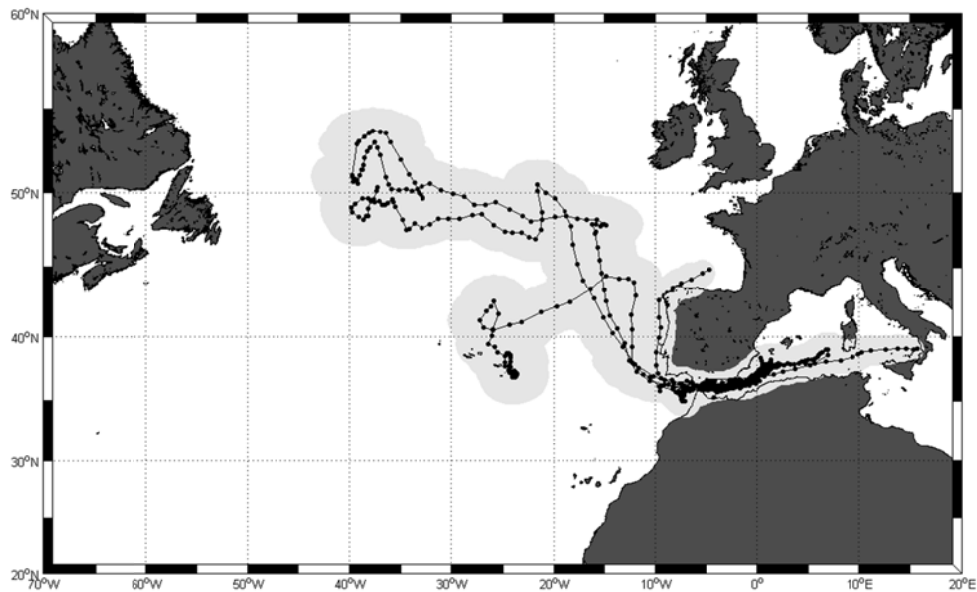
Figuras 13-15. Distribución de tallas de las capturas de atún rojo totales de almadrabas para el periodo 2010-2012.



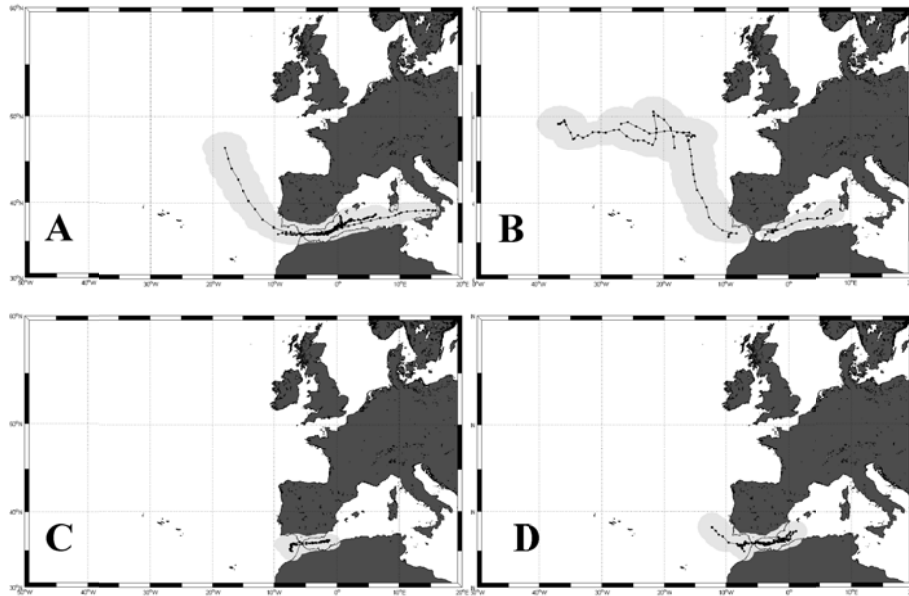


**Figura 16.** Registro de profundidad de un pez presumiblemente muerto tras la operación de marcado. Se observa la activación de la marca y la permanencia a profundidad constante hasta que la marca se libera y sube a superficie.

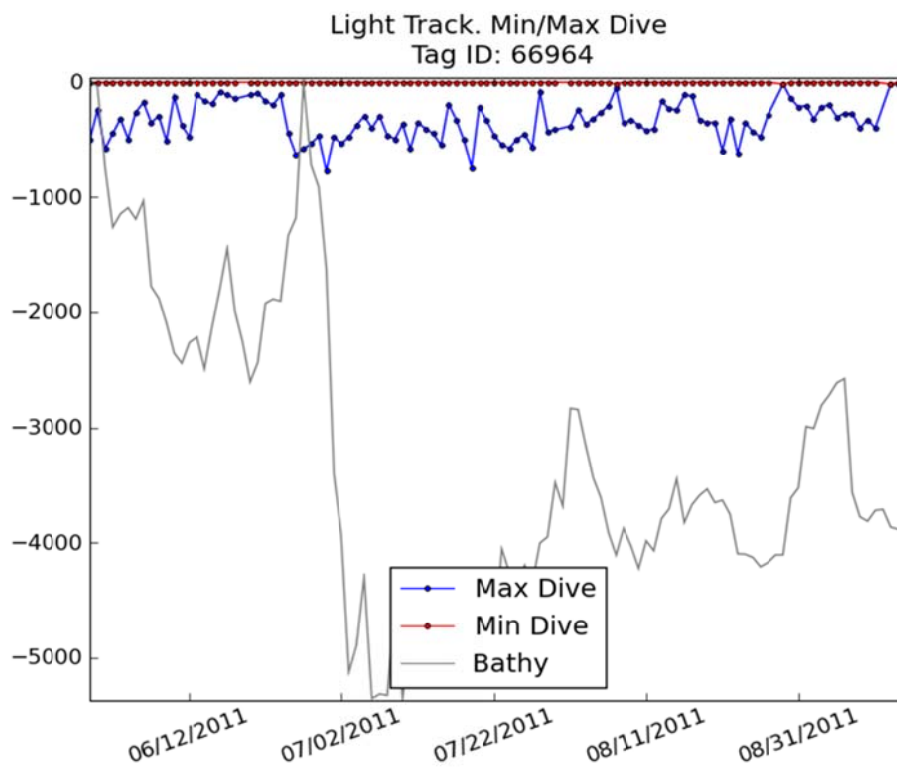
En las marcas restantes, el tiempo de retención fue, sin contar las marcas prematuras ni las que aún no han emitido, de  $62.92 \pm 33.56$  días, siendo significativamente mayor en las marcas implantadas a bordo ( $86.50 \pm 42.07$  días) que en las marcadas con fusil ( $52.44 \pm 32.71$  días).



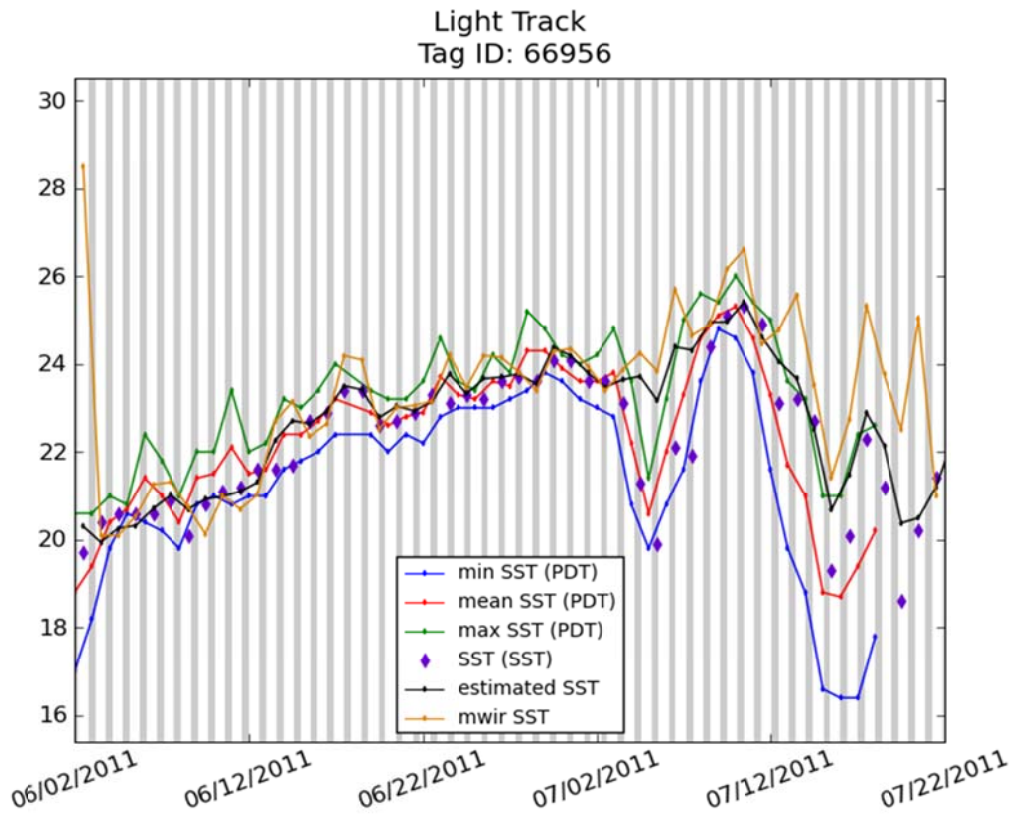
**Figura 17.** Mapa sintético mostrando las trayectorias estimadas y el intervalo de confianza de los ejemplares implantados con marcas satélite pop-up.



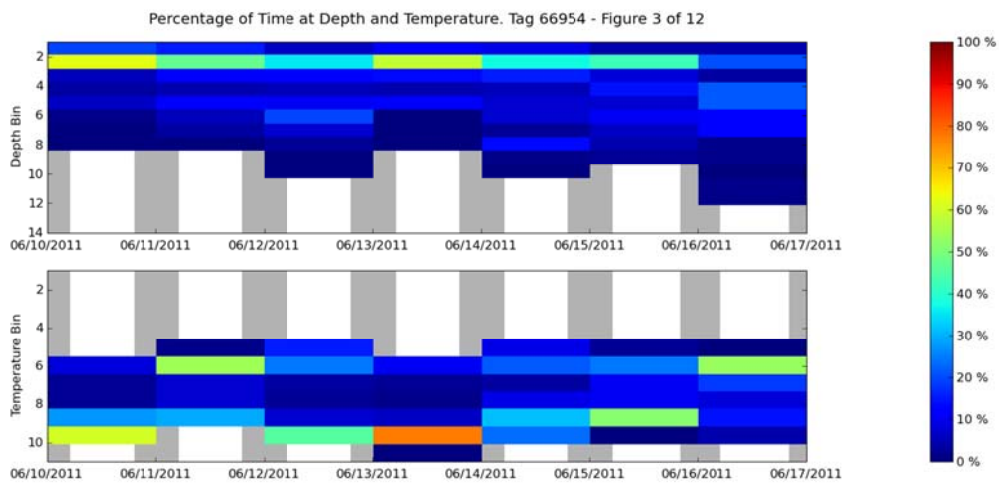
**Figura 18.** Trayectorias de los ejemplares implantados con marcas satélite pop-up mediante fusil en los meses de junio (A) y julio (B) y de los ejemplares marcados a bordo en los mismos meses (C y D).



**Figura 19.** Registro de profundidad mínima y máxima alcanzada cada día y batimetría de un ejemplar de atún rojo marcado con una marca satélite pop-up.

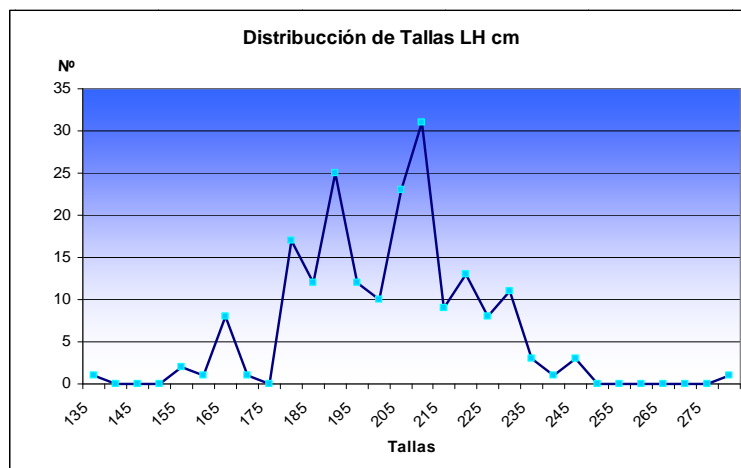


**Figura 20.** Registro de temperaturas superficiales estimados por la marca, obtenidos mediante satélite y suavizados tras el filtrado Kalman.

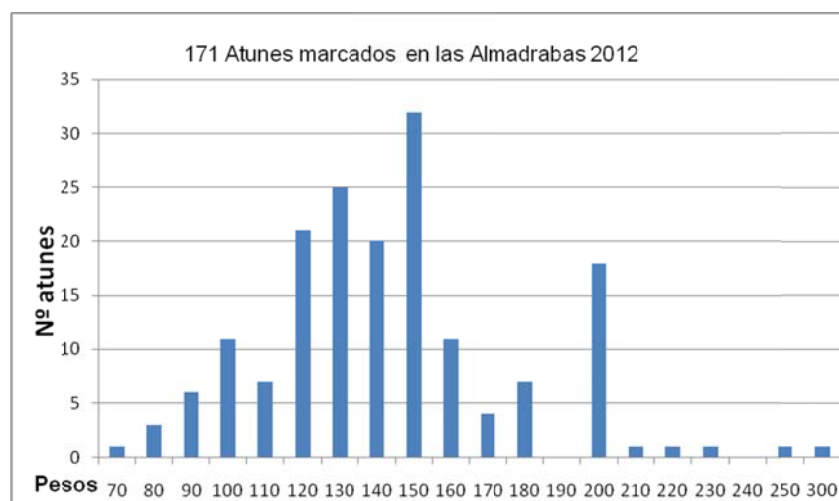


**Figura 21.** Gráfico sinóptico mostrando el porcentaje de tiempo pasado a cada intervalo predefinido de profundidad y temperatura en función de la fecha.

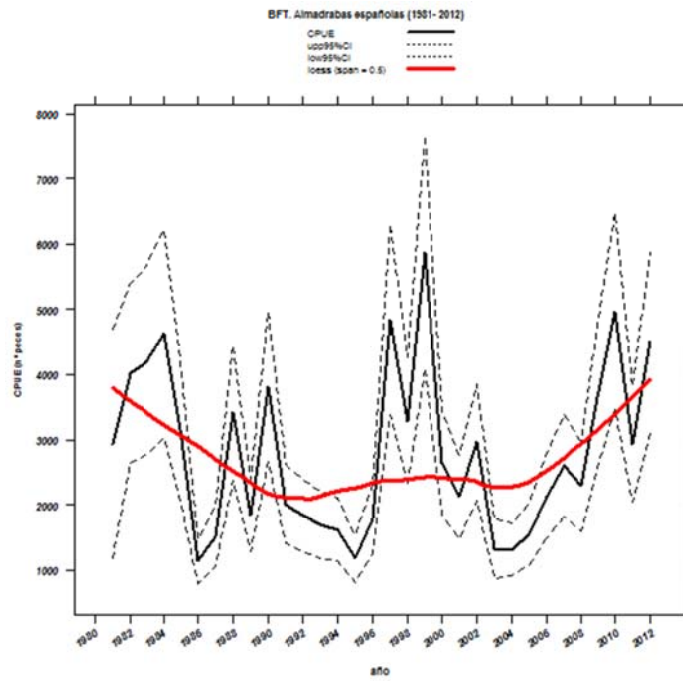
Conclusiones preliminares



**Figura 22.** Distribución de tallas (LH cm) de los atunes rojos marcados, obtenidas mediante la transformación de los pesos vivos (Kg.) estimados por los submarinistas, durante la Encomienda de almadrabas de 2011.



**Figura 23.** Distribución de pesos de los atunes rojos marcados con marcas convencionales en 2012.



**Figura 24.** Tendencia de los índices de abundancia estandarizados a lo largo del período de 1980-2012.