

Nota de Investigación/Research Note

Concentraciones de mercurio, cadmio, plomo, arsénico, cobre y zinc en atún blanco, rabil y patudo procedentes del Océano Atlántico

Mercury, cadmium, lead, arsenic, copper and zinc concentrations in albacore, yellowfin tuna and bigeye tuna from the Atlantic Ocean

V Besada*, JJ González, F Schultze

Centro Oceanográfico de Vigo, Instituto Español de Oceanografía (IEO), Cabo Estai-Canido, 36280 Vigo, España.

* E-mail: victoria.besada@vi.ieo.es

Resumen

Se determinaron las concentraciones de Hg, Cd, Pb, As, Cu y Zn en 67 muestras de atunes procedentes del Océano Atlántico, con el fin de conocer las concentraciones existentes en las diferentes especies y evaluar los posibles riesgos para la salud humana derivados de su consumo. Los límites máximos de Hg, Cd y Pb en productos alimenticios están regulados en los Reglamentos CE 466/2001 y CE 78/2005. Las especies estudiadas fueron el atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*), el rabil (*Thunnus albacares*) y el patudo (*Thunnus obesus*). Las tres especies muestran diferencias en las concentraciones de los metales analizados. Las concentraciones máximas de Hg obtenidas en las muestras de atún blanco y rabil se encontraron muy alejadas del límite para consumo humano fijado en el Reglamento Comunitario para este elemento (1.0 mg kg⁻¹ peso húmedo). Sin embargo, algunos ejemplares de patudo sobrepasaron dicho límite. Para el resto de los metales legislados, los valores son muy inferiores al límite. En las tres especies las concentraciones de Hg aumentan con la longitud de los peces; sin embargo, para el resto de los elementos estudiados las relaciones entre concentraciones y tallas no están claramente definidas.

Palabras clave: *Thunnus alalunga*, *Thunnus albacares*, *Thunnus obesus*, metales pesados, Océano Atlántico.

Abstract

The concentrations of Hg, Cd, Pb, As, Cu and Zn were determined in 67 tuna samples from the Atlantic Ocean, in order to determine the concentrations present in different species and to evaluate possible risks for human health as a consequence of the consumption of these products. The maximum permissible levels of Hg, Cd and Pb in foodstuffs are established by Commission Regulations (EC) 466/2001 and 78/2005. The species studied were albacore (*Thunnus alalunga*), yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*). These three species showed differences in the metal concentrations analyzed. The maximum Hg concentrations obtained in albacore and yellowfin tuna samples were well below the limit established for human consumption (1.0 mg kg⁻¹ wet weight), but some bigeye tuna individuals exceeded this limit. In the case of the other regulated metals, the values were well below the limit. For these three species, Hg concentrations increased as the size of the individuals increased, but there was no clear relationship between concentrations and sizes for the rest of the elements studied.

Key words: *Thunnus alalunga*, *Thunnus albacares*, *Thunnus obesus*, heavy metals, Atlantic Ocean

Introducción

Este trabajo se engloba en un estudio desarrollado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) en el marco de un convenio de colaboración con la Secretaría General de Pesca Marítima (SGPM), con el fin de conocer las concentraciones de As y metales pesados en pescados y mariscos de interés comercial. El objetivo ha sido evaluar los posibles riesgos para la salud humana derivados del consumo de estos productos ya que el incremento en la actividad industrial en las costas o la estrategia vital de determinadas especies pueden provocar el incremento de los niveles de metales pesados en los organismos marinos. Los límites máximos de Hg, Cd y Pb en productos alimenticios están regulados en los reglamentos CE 466/2001 y CE 78/2005 (Comisión Europea 2001, 2005).

Introduction

This work forms part of a study developed by the Instituto Español de Oceanografía (IEO), under a collaboration agreement with the Secretaría General de Pesca Marina (SGPM, Spain), in order to determine the concentrations of As and heavy metals in commercially important fish and seafood. The objective is to assess possible risks for human health caused by the consumption of these products, since high industrial activity or the vital strategy of specific species can lead to increased heavy metal concentrations in marine organisms. The maximum permissible levels of Hg, Cd and Pb in foodstuffs are established by Commission Regulations (EC) 466/2001 and 78/2005 (Comisión Europea 2001, 2005).

Durante el desarrollo de este trabajo se han estudiado diferentes especies de túnidos debido a la gran importancia económica y social de sus pesquerías desde hace varias décadas.

El atún blanco o bonito del norte (*Thunnus alalunga*) es una especie de gran interés comercial que se encuentra distribuida en todos los océanos en aguas tropicales y templadas. Normalmente su talla máxima es 100 cm, pudiendo algunos ejemplares alcanzar los 140 cm (Torres 1991). Estos organismos alcanzan la madurez a los 90 cm, que corresponden a los 5 años; su longevidad se estima en unos 15 años.

El rabil (*Thunnus albacares*), también conocido por los nombres de atún claro o *yellowfin*, se distribuye principalmente en aguas tropicales y subtropicales de los tres océanos, donde forma grandes grupos. Las tallas explotadas abarcan de los 30 a los 170 cm (Collette y Nauen 1983), siendo la edad máxima estimada 8 años.

El patudo (*Thunnus obesus*) o *bigeye* se distribuye en aguas tropicales y subtropicales del Atlántico, Pacífico e Índico, pero está ausente en el Mediterráneo (Riede 2004). Presenta un crecimiento relativamente rápido situándose normalmente en 180 cm, pero pueden existir ejemplares de hasta 250 cm (Reiner 1996). La edad máxima observada es de 11 años (Collette 2001).

Dado que el pescado es uno de los principales componentes de la alimentación humana, se han llevado a cabo numerosos estudios para conocer los niveles de los diferentes contaminantes en diversas especies comerciales (Schuhmacher *et al.* 1994, Serrano *et al.* 1994). Los metales pesados más peligrosos tanto para el ecosistema marino como para la salud humana debido a sus características de toxicidad, persistencia y bioacumulación son por este orden Hg, Cd y Pb, seguidos a bastante distancia por el Cu, Zn, Cr, Ni, etc. (Kennish 1991).

Una de las consecuencias más graves de que los metales no sean biodegradables es su acumulación en las cadenas tróficas (Neff 2002), por lo que los organismos tróficamente superiores, entre ellos el hombre, se encuentren expuestos a elevadas concentraciones de estos elementos (Wang 2002).

El Hg total y particularmente el Hg orgánico tiende a incrementarse en los tejidos de los animales marinos con la edad y el crecimiento (Peterson *et al.* 2002). Los peces situados en los niveles superiores de la cadena alimentaria muestran altas concentraciones tanto en el músculo como en los otros tejidos (Downs *et al.* 1998).

En la bibliografía se indica como fuente de Cd en tejidos de peces la concentración en el agua y en la dieta (Canli y Furness 1993, Miles y Hills 1994), no encontrándose una tendencia basada en la posición taxonómica. Sin embargo, en algún estudio se señala que la concentración de este metal aumenta al incrementar el nivel trófico (Riget y Dietz 2000).

La toxicidad del Pb es debida sobre todo a su forma química, siendo en general las formas inorgánicas menos tóxicas que las orgánicas (Kennish 1997). No se han encontrado indicaciones de que el Pb se incremente en los niveles tróficos superiores (Fant *et al.* 2001).

Three tunid species were selected for this study, because they have been important for fisheries, the economy and society for decades.

Albacore (*Thunnus alalunga*) is a species of great commercial interest and it is distributed in warm and tropical waters of every ocean. Its normal maximum size is 100 cm, though some individuals can reach 140 cm (Torres 1991). Maturity is reached at a size of 90 cm, usually at 5 years of age, and it has an estimated longevity of 15 years.

Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) is mainly distributed in tropical and subtropical waters of the Atlantic, Pacific and Indian Oceans, where it forms big groups. Exploited sizes range from 30 to 170 cm (Collette and Nauen 1983), and the maximum estimated age is 8 years.

Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) is distributed in tropical and subtropical waters of the three oceans, but it is not found in the Mediterranean Sea (Riede 2004). It shows a relatively fast growth, usually reaching a size of 180 cm, although some individuals can reach 250 cm (Reiner 1996). The maximum recorded age is 11 years (Collette 2001).

Given the fact that fish is one of the main components of the human diet, several studies have been carried out to determine the levels of different pollutants in diverse commercial species (Schuhmacher *et al.* 1994, Serrano *et al.* 1994). Due to their toxicity, persistence and bioaccumulation characteristics, the most dangerous heavy metals for the marine ecosystem and human health are Hg, Cd and Pb, in that order, followed at a distance by Cu, Zn, Cr, Ni, etc. (Kennish 1991).

Since metals are not biodegradable, they accumulate in the trophic chain (Neff 2002), and organisms that are higher in the chain, including man, are therefore exposed to high concentrations of these elements (Wang 2002).

Total Hg, especially organic Hg, tends to increase in the tissues of marine animals as they grow and get older (Peterson *et al.* 2002). Fish from the upper levels of the food chain show high concentrations both in muscle and other tissues (Downs *et al.* 1998).

The concentration of Cd in water and the diet is mentioned in the bibliography as a source of this metal in fish tissues (Canli and Furness 1993, Miles and Hills 1994), but there is no pattern based on the taxonomic position. Nevertheless, some studies point out that this metal concentration increases along with the trophic level (Riget and Dietz 2000).

The toxicity of Pb is mainly due to its chemical form, and inorganic forms are generally less toxic than organic forms (Kennish 1997). There is no evidence that Pb increases in the upper trophic levels (Fant *et al.* 2001).

Marine organisms show high levels of As, and the organic forms—harmless for human consumption—are more abundant in crustaceans and seafood than in fish (Muñoz *et al.* 2000, Véllez and Montoro 1998). Some researchers have found a positive correlation between the total As content and the size of different species (Phillips 1990).

Fish, crustaceans and mollusks properly regulate Cu in their tissues; however, an inverse relation has sometimes been

Los organismos marinos contienen altos niveles de As siendo las formas orgánicas, inocuas para el consumo humano, más abundantes en los crustáceos y mariscos que en los peces (Vélez y Montoro 1998, Muñoz *et al.* 2000). Algunos investigadores han encontrado correlaciones positivas entre el contenido de As total y la talla de diferentes especies (Phillips 1990).

Peces, crustáceos y moluscos regulan bien el Cu en sus tejidos; sin embargo, en ocasiones, se ha encontrado una relación inversa entre los valores de Cu y el tamaño, lo que puede sugerir que las necesidades metabólicas disminuyen con la edad (Swaileh y Adelung 1994).

En algunas especies parece existir una dependencia entre los valores de Zn y el tamaño del animal, lo que puede significar requerimientos metabólicos diferentes entre individuos jóvenes y adultos (Kennish 1997).

Material y métodos

El muestreo se planificó de tal manera que fuese estratificado por clase de tallas para poder estudiar las variaciones de las concentraciones con la edad de los individuos. Los ejemplares analizados en este trabajo han sido recogidos por los observadores científicos del IEO, embarcados en buques comerciales durante el año 2001.

Se estudiaron 24 ejemplares de *T. alalunga* con un intervalo de tallas entre 51 y 95 cm; 30 ejemplares de *T. obesus* entre 60 y 167 cm; y 13 ejemplares de *T. albacares* entre 96 y 145 cm.

Las muestras de tejido muscular se mantuvieron congeladas para su posterior trituración, liofilización y homogeneización. Previamente a la liofilización se obtuvo una alícuota de la muestra para calcular el porcentaje de agua de la misma.

La mineralización se realizó a 130°C durante 5 h con ácido nítrico, usando para ello reactores de teflón a presión (Besada *et al.* 2002). La cuantificación se llevó a cabo mediante espectrometría de absorción atómica con cámara de grafito con efecto Zeeman (Cd, Pb, As y Cu) o con llama (Zn). El Hg total se determinó mediante espectrometría de absorción atómica por inyección de flujo por el método de vapor frío.

La validación de los resultados se realizó mediante el análisis simultáneo de muestras y material de referencia certificado, así como participando sistemáticamente en ejercicios de intercalibración tales como QUASIMEME. En la tabla 1 se presentan los valores de Z-score obtenidos en los ejercicios de

found between Cu values and size, what can suggest that metabolic needs decrease with age (Swaileh and Adelung 1994).

For some species there seems to be a dependence between Zn values and the animal size. This could mean different metabolic requirements between young and adult individuals (Kennish 1997).

Material and methods

Sampling was planned so that it was stratified by size class, and variations in the concentrations could thus be studied according to the age of the individuals. The individuals analyzed in this work were collected by IEO scientific observers aboard commercial vessels during 2001.

A total of 67 samples were analyzed: 24 individuals of *T. alalunga*, ranging in size from 51 to 95 cm; 30 individuals of *T. obesus*, ranging in size from 60 to 167 cm; and 13 individuals of *T. albacares*, ranging in size from 96 to 145 cm.

Muscle tissue samples were preserved frozen and subsequently triturated, freeze-dried and homogenized. Before freeze-drying the sample, a sample aliquot was obtained to estimate the percentage of water in it.

Mineralization was carried out at a temperature of 130°C for 5 h with nitric acid, using for this purpose high-pressure Teflon reactors (Besada *et al.* 2002). Quantification was performed by atomic absorption spectrometry with Zeeman-effect graphite furnace (Cd, Pb, As and Cu) or flame (Zn). Total Hg was determined by flow-injection cold-vapour atomic absorption spectrometry.

The results were validated by the simultaneous analysis of samples and certified reference material, as well as by the systematic participation in international intercomparison exercises such as QUASIMEME. Table 1 shows the Z-score values obtained in the QUASIMEME intercomparison exercises conducted simultaneously with the studied samples. Only the $|Z| \leq 2$ results are considered to be satisfactory (QUASIMEME 2002).

All the concentrations recorded in the analyzed species are expressed in milligrams per kilogram of wet weight (mg kg^{-1} ww).

Results and discussion

A summary of the concentrations of the different elements analyzed in muscle tissue from the three species studied is given in table 2. In order to analyze the differences among the

Tabla 1. Z-score obtenidas por IEO-Vigo en los ejercicios de intercalibración de QUASIMEME.

Table 1. Z-scores obtained by IEO-Vigo in QUASIMEME intercomparison exercises.

Round code	Year	Matrix	Hg	Cd	Pb	As	Cu	Zn
QTM051 BT	2001	Fish Muscle	0.12	-1.21	0.02	-0.36	0.27	0.63
QTM052 BT	2001	Mussel	-0.05	0.11	0.26	-0.16	0.96	-0.03
QTM055 BT	2002	Mussel	0.25	-0.10	-0.14	-0.68	-0.90	0.07
QTM056 BT	2002	Cod Liver	-0.10	-0.60		0.05	-0.41	-0.52

Tabla 2. Concentraciones de metales (mg kg⁻¹ peso húmedo) en músculo de *Thunnus* sp.

Table 2. Metal concentrations (mg kg⁻¹ wet weight) in muscle of *Thunnus* species.

Species		Hg	Cd	Pb	As	Cu	Zn
<i>Thunnus alalunga</i>	Range	0.118–0.564	0.004–0.039	<0.002–0.012	<0.050–2.64	0.233–0.806	3.00–7.00
	Median	0.190	0.013		0.585	0.348	4.48
<i>Thunnus albacares</i>	Range	0.166–0.531	0.002–0.007	<0.002–0.018	0.230–1.38	0.233–0.394	3.98–10.5
	Median	0.327	0.004		0.601	0.297	4.82
<i>Thunnus obesus</i>	Range	0.344–1.29	0.005–0.025	<0.002–0.048	1.02–4.03	0.189–0.739	2.79–17.8
	Median	0.761	0.010		1.89	0.279	4.00

intercalibración de QUASIMEME realizados simultáneamente con las muestras estudiadas, solamente los resultados con $|Z| \leq 2$ se consideran satisfactorios (QUASIMEME 2002).

Todas las concentraciones obtenidas en las especies analizadas se expresan en miligramos por kilogramo de peso húmedo (mg kg⁻¹ ph).

Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestra un resumen de las concentraciones de los diferentes elementos analizados en el músculo de las tres especies de atunes estudiados. Para observar las diferencias entre las tres especies, en la figura 1 se presentan, en diagramas de cajas, los niveles de Hg, Cd y As. Para el Hg se pueden observar las variabilidades de los rangos, siendo importante señalar que los valores más altos corresponden al patudo con un valor máximo de 1.29 mg kg⁻¹ ph.

Comparando los resultados obtenidos para Hg con el límite máximo permitido (1.0 mg kg⁻¹ ph) en estas especies para consumo humano legislado en los reglamentos de la Comunidad Europea se llega a la conclusión que las concentraciones en atún blanco y rabil se encuentran muy alejadas de dicho límite, mientras que 16.7% de las muestras de patudo analizadas sobrepasan este valor por lo que sería conveniente efectuar un seguimiento sistemático de las concentraciones de este metal en *T. obesus*.

three tunid species, figure 1 shows box-and-whisker plots of the Hg, Cd and As levels. In the case of Hg, variability in the levels can be observed, and it is important to indicate that the highest values corresponded to bigeye tuna, with a maximum of 1.29 mg kg⁻¹ ww.

The comparison of the results obtained for Hg with the maximum permissible level (1.0 mg kg⁻¹ ww) in this species for human intake—established by the aforementioned Community Regulations—revealed that the concentrations in albacore and yellowfin tuna were well below the limit, while 16.7% of the bigeye tuna samples analyzed exceeded this limit. Given the percentage of *T. obesus* that exceeded the limit, it would be advisable to systematically monitor this species.

The Cd values recorded in this study were well below the limit set by the Community Regulations (0.1 mg kg⁻¹ ww). The results for this element in albacore and bigeye tuna are quite homogeneous, with a mean value of 0.014 mg kg⁻¹ ww. for the former and of 0.010 mg kg⁻¹ ww. for the latter. As shown in figure 1, yellowfin tuna had lower Cd levels than the other two species.

Regarding Pb, 52.2% of the values obtained for the 67 samples analyzed were below or close to the detection limit for the analytical method used (0.002 mg kg⁻¹ ww). The rest of the results were quite far from the maximum concentration allowed (0.4 mg kg⁻¹ ww), therefore it is difficult to assess the differences among the three species studied. By species, the

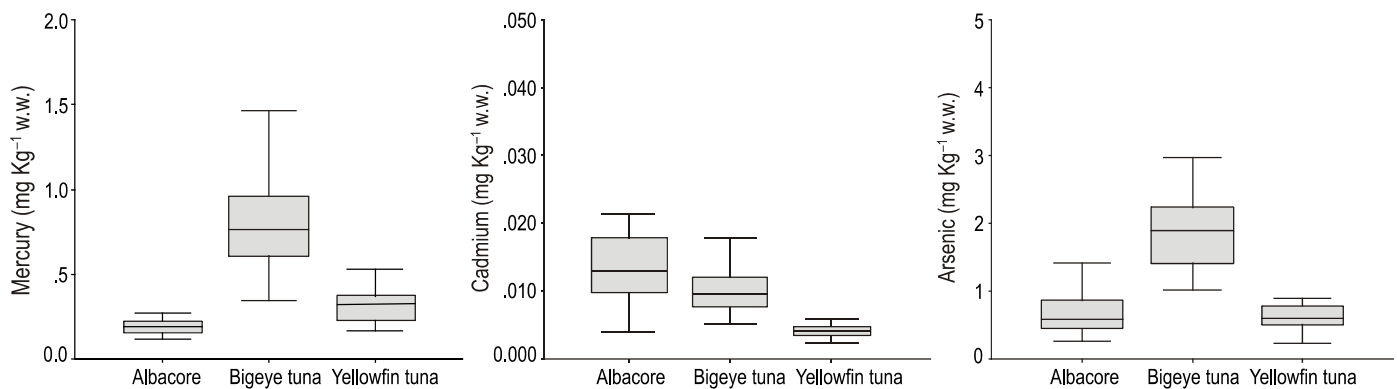


Figura 1. Diagrama de cajas para el Hg, Cd y As en *Thunnus alalunga*, *T. albacares* y *T. obesus*.

Figure 1. Box-and-whisker plots of Hg, Cd and As for *Thunnus alalunga*, *T. albacares* and *T. obesus*.

En el presente estudio los valores de Cd se encontraron muy alejados del límite regulado por la Comunidad Europea ($0.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$). Los resultados para este elemento en atún blanco y patudo son muy homogéneos, con un promedio de $0.014 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$ para la primera especie y de $0.010 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$ para la segunda. Como se observa en la figura 1, el rabil presenta niveles de Cd más bajos que las otras dos especies.

El 52.2% de los valores de Pb obtenidos en las 67 muestras analizadas se encontraron por debajo o muy próximos al límite de detección del método analítico empleado ($0.002 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$) y los restantes resultados, muy alejados de la concentración máxima permitida ($0.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$) por lo que es difícil evaluar diferencias entre las tres especies objeto de estudio. Por especies, los porcentaje de valores que están por debajo del límite de detección son 91.7%, 36.7% y 15.4% para *T. alalunga*, *T. obesus* y *T. albacares*, respectivamente.

En el caso del As, el patudo presentó los valores más elevados (media $1.92 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$), mientras que los correspondientes al atún blanco y al rabil fueron más homogéneos, con medias semejantes entre ellas (0.722 y $0.677 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$, respectivamente). Las concentraciones en algunos ejemplares de atún blanco se encontraron por debajo del límite de detección ($0.050 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$).

En la tabla 2 se presentan los resultados de los análisis de Cu y Zn. Para el primero las concentraciones más elevadas corresponden al atún blanco, mientras que para el segundo las tres especies presentan un rango muy similar con promedios próximos a $5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$.

En España no existe legislación para la concentración máxima permitida de Cu y Zn en alimentos, pero se utiliza la existente en otros países como el *UK Food Standards Committee Report*, según el cual el Cu en alimentos no puede exceder de $20 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$, mientras que el Zn no debe exceder los $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ph}$. Estos límites no fueron sobrepasados en el músculo de ninguna de las especies analizadas. El valor más elevado que se encontró fue 10 veces menor que el valor legislado para el Zn y 25 veces inferior que el de Cu.

De lo anterior se deduce que, de las tres especies estudiadas procedentes del Océano Atlántico, el *T. obesus* presenta las concentraciones medias más elevadas para el Hg, Pb y As, mientras que *T. alalunga* las presenta para el Cd y el Cu. En general, *T. albacares* muestra los valores más bajos de los elementos analizados.

La edad de los diferentes ejemplares analizados no fue determinada, sin embargo, los datos biométricos sugieren que la mayoría son individuos adultos.

Se realizó la matriz de correlación de Pearson para verificar las posibles correlaciones entre los metales analizados y las tallas, observándose únicamente correlación en el Hg. En la figura 2 se presentan las gráficas de las concentraciones de Hg en relación con la longitud de los ejemplares estudiados de las tres especies, observándose una correlación positiva significativa que oscila entre el 0.61 y 0.77 para el R^2 .

Como ocurre en otras especies (Riget y Dietz 2000), para el resto de los elementos analizados las correlaciones son

percentage of values that were below the detection limit were 91.7%, 36.7% and 15.4% for *T. alalunga*, *T. obesus* and *T. albacares*, respectively.

In the case of As, bigeye tuna had the highest values (mean of $1.92 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$), while albacore and yellowfin tuna showed more homogeneous values and similar means (0.722 and $0.677 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$, respectively). Concentrations in some albacore individuals were below the detection limit ($0.050 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$).

The results of the Cu and Zn analyses are given in table 2. The highest concentrations of Cu were recorded in albacore, while the three species showed very similar levels of Zn, reaching mean values close to $5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$.

In Spain there is no legislation on the maximum allowed concentrations of Cu and Zn in food; however, based on legislation from other countries, such as the *UK Food Standards Committee Report*, values should not exceed $20 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$ for Cu and $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ww}$ for Zn. These limits were not exceeded in the muscle of any of the species analyzed. The highest value found in muscle tissue was 10 times lower than that regulated for Zn and 25 times lower than that for Cu.

Therefore, we can conclude that, of the three Atlantic species analyzed, *T. obesus* had the highest mean concentrations of Hg, Pb and As, while *T. alalunga* had the highest concentrations of Cd and Cu. In general, *T. albacares* had the lowest values of the elements analyzed.

The age of the different individuals studied was not determined, but the biometric data suggest that most of them were adults.

Matrices of Pearson's correlation coefficients were calculated to detect possible correlations between the metals and sizes studied, which were only observed for Hg. Figure 2 shows the graphs of the Hg concentrations relative to the length of the individuals for the three species, showing a significant positive correlation that ranges between 0.61 and 0.77 for R^2 .

As occurs with other species (Riget and Dietz 2000), the correlations were less significant for the rest of the elements analyzed, being positive in some cases (As and Zn) and negative in others (Cd and Cu).

There is an important discussion on the possible factors that influence the concentration of different metals and it is difficult to devise a hypothesis to explain this. It seems that older fish can better control both the adsorption and elimination of metals (Cronin *et al.* 1998). In some cases this has been associated with specific differences in feeding behaviors, since in many species, younger individuals eat more cephalopods and crustaceans than older individuals (Chen *et al.* 2002).

Further studies on the influence of environmental and biological factors on metal dynamics are needed. Moreover, as we do not know how metal concentrations can be affected by biochemical and physiological processes during aging (Ruelas-Inzunza *et al.* 2003), it is also necessary to study the storage and distribution mechanism of metals in different fish tissues at different ages.

bastante menos significativas siendo en algunos casos positivas (As y Zn) y en otros negativas (Cd y Cu).

Existe una importante discusión sobre los posibles factores que influyen en la concentración de los diferentes metales siendo difícil detallar una hipótesis que explique este fenómeno. Parece ser que los peces con más años pueden regular mejor tanto la absorción como la eliminación de metales (Cronin *et al.* 1998). En algunos casos esto se ha relacionado con diferencias específicas en los hábitos alimentarios, ya que en muchas especies los individuos más jóvenes se alimentan más de cefalópodos o crustáceos que los de más edad (Chen *et al.* 2002)

Son necesarios más estudios sobre la influencia de los factores tanto ambientales como biológicos en la dinámica de los metales.

Como en otras especies de gran tamaño, no se sabe de que manera concentraciones de metales puedan verse afectadas por los procesos bioquímicos y fisiológicos durante el envejecimiento (Ruelas-Inzunza *et al.* 2003); asimismo, es necesario estudiar el mecanismo de almacenamiento y distribución de los metales en los diferentes tejidos de los peces de diferentes edades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Jaime Mejuto, Investigador Jefe del Programa de Evaluación de Pesquerías de Túnidos y especies afines y a Manuel Quintans su colaboración en este estudio. También a los observadores científicos del IEO que han recogido las muestras en los buques comerciales y al personal auxiliar contratado para el desarrollo del proyecto por su participación en la preparación de las muestras.

Referencias

- Besada V, Fumega J, Vaamonde A. 2002. Temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast 1991–1999. *Sci. Total Environ.* 288(3): 239–253.
- Canli M, Furness RW. 1993. Toxicity of heavy metals dissolved in sea water and influences of sex and size on metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Environ. Res.* 36: 217–236.
- Chen M-H, Shih C-C, Chou C-L, Chou L-S. 2002. Mercury, organic-mercury and selenium in small cetaceans in Taiwanese waters. *Mar. Pollut. Bull.* 45: 237–245
- Collette BB. 2001. Scombridae. Tunas (also, albacore, bonitos, mackerels, seerfishes, and wahoo). In: Carpenter KE, Niem VH (eds.), *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific*. Rome, pp. 3721–3756.
- Collette BB, Nauen CE. 1983. *FAO species catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date.* *FAO Fish. Synop.* 2(125): 137.
- Comisión Europea. 2001. Reglamento (CE) No. 466/2001 de la Comisión de 8 de marzo de 2001 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L(77): 1–13.

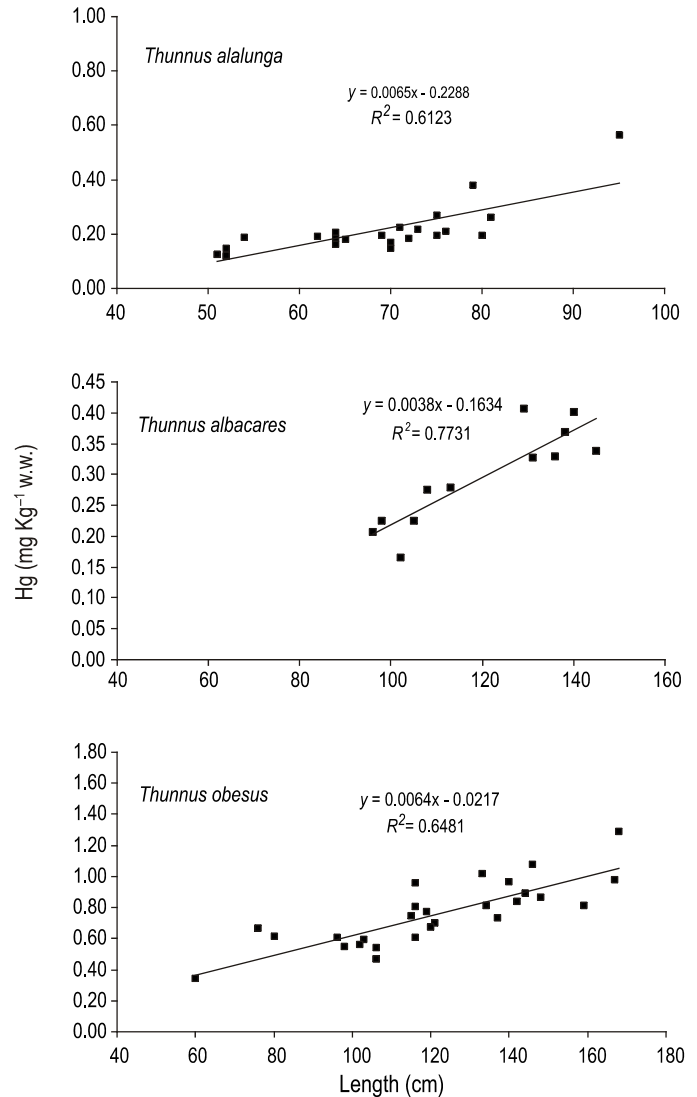


Figura 2. Correlación positiva entre las concentraciones de Hg (mg kg⁻¹ peso húmedo) en músculo y la talla de *Thunnus alalunga*, *T. albacares* y *T. obesus*.

Figure 2. Positive correlations between Hg concentrations (mg kg⁻¹ wet weight) in muscle tissue and length for *Thunnus alalunga*, *T. albacares* and *T. obesus*.

Acknowledgements

The authors would like to thank Jaime Mejuto (head of the research Tuna and Related Fisheries Evaluation Program) and Manuel Quintans for their collaboration. They also thank the IEO scientific observers that collected the samples on board commercial vessels, and the auxiliary staff hired for this project who assisted in the preparation of the samples.

Comisión Europea. 2005. Reglamento (CE) No. 78/2005 de la Comisión de 19 de enero de 2005 por el que se modifica el Reglamento (CE) No. 466/2001 en lo referente a metales pesados. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L(16): 43–45.

- Cronin M, Davies IM, Newton A, Pirie JM, Topping G, Swan S. 1998. Trace metal concentrations in deep sea fish from the North Atlantic. *Mar. Environ. Res.* 45(3): 225–238.
- Downs SG, Macleod CL, Lester JN. 1998. Mercury in precipitation and its relation to bioaccumulation in fish: A literature review. *Water, Air, Soil Pollut.* 108: 149–187.
- Fant ML, Nyman M, Helle E, Rudbäck E. 2001. Mercury, cadmium, lead and selenium in ringed seals (*Phoca hispida*) from the Baltic Sea from Svalbard. *Environ. Pollut.* 111: 493–501.
- Kennish MJ. 1991. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kennish MJ. 1997. *Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 524 pp.
- Miles AK, Hills S. 1994. Metals in diet of Bering Sea walrus: *Mya* sp. as a possible transmitter of elevated cadmium and other metals. *Mar. Pollut. Bull.* 28(7): 456–458.
- Muñoz C, Devesa V, Suñer MA, Vélez D, Montoso R, Urieta I, Macho ML, Jalón M. 2000. Total and inorganic arsenic in fresh and processed fish products. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4369–4376.
- Neff JM. 2002. *Bioaccumulation in Marine Organisms. Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water*. Elsevier Science, Oxford.
- Peterson SA, Herlihy AT, Hughes RM, Motter KL, Robbins JM. 2002. Level and extent of mercury contamination in Oregon, USA, lotic fish. *Environ. Toxicol. Chem.* 21(10): 2157–2164.
- Phillips DJH. 1990. Arsenic in aquatic organisms: A review, emphasizing chemical speciation. *Aquat. Toxicol.* 16: 151–186.
- QUASIMEME. 2002. QUASIMEME Laboratory Performance studies. Round 30. Exercise 535. Trace metals in biota. Aberdeen.
- Reiner F. 1996. Catálogo dos peixes do Arquipélago de Cabo Verde. *Publ. Avuls. Inst. Port. Invest. Marit.* 2: 339.
- Riede K. 2004. Global register of migratory species - from global to regional scales. Final Report of the R&D-Project 808 05 081, Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.
- Riget F, Dietz R. 2000. Temporal trends of cadmium and mercury in Greenland marine biota. *Sci. Total Environ.* 245: 49–60.
- Ruelas-Inzunza JR, Horvat M, Pérez-Cortés H, Páez-Osuna F. 2003. Methylmercury and total mercury distribution in tissues of gray whales (*Eschrichtius robustus*) and spinner dolphins (*Stenella longirostris*) stranded along the lower Gulf of California, Mexico. *Cienc. Mar.* 29: 1–8.
- Schuhmacher M, Batiste J, Bosque MA, Domingo JL, Corbella J. 1994. Mercury concentrations in marine species from the coastal area of Tarragona Province, Spain. Dietary intake of mercury through fish and seafood consumption. *Sci. Total Environ.* 156: 269–273.
- Serrano R, Hernández F, López FJ. 1994. Trends in the bioavailability of heavy metals and variations of fish catches in the western Mediterranean Sea (Castellon Coast, Spain). *Toxicol. Environ. Chem.* 42: 215–226.
- Swaihle KM, Adelung D. 1994. Levels of trace metals and effect of body size on metal content and concentration in *Arctica islandica* L. (Mollusca, Bivalvia) from Kiel Bay, western Baltic. *Mar. Pollut. Bull.* 28(8): 500–505.
- Torres FSB. 1991. Tabular data on marine fishes from southern Africa. Part II. Growth parameters. *Fishbyte* 9(2): 37–38.
- Vélez D, Montoro R. 1998. Arsenic speciation in manufactured seafood products. *J. Food Prot.* 61(9): 1240–1245.
- Wang WX. 2002. Interactions of trace metals and different marine food chains. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 243: 295–309.

*Recibido en abril de 2005;
aceptado en marzo de 2006.*