



CONTENIDO EN METALES PESADOS TÓXICOS,
TRAZA Y ESENCIALES, Y MACRONUTRIENTES EN
THUNNUS THYNNUS Y *SCOMBER COLIAS* EN
TENERIFE, ISLAS CANARIAS, ESPAÑA.

Heavy metal content, trace and essential elements, and macronutrients in
Thunnus thynnus and *Scomber colias*, in Tenerife, Canary Island, Spain.

Autor: Ángel Manuel García González

Tutor: Gonzalo Lozano Soldevilla

Cotutor: Ángel José Gutiérrez Fernández

Julio de 2018

**SOLICITUD DE DEFENSA Y EVALUACIÓN
TRABAJO FIN DE GRADO
Curso Académico: 2017/2018**

Datos Personales

Nº DNI o pasaporte: 43379257S	Nombre y Apellidos: Ángel Manuel García González
-------------------------------	--

SOLICITA la defensa y evaluación del Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

Contenido en metales pesados tóxicos, traza y esenciales, y macronutrientes en *Thunnus thynnus* y *Scomber colias* en Tenerife, Islas Canarias, España.

Autorización para su depósito, defensa y evaluación

D./Dña. Gonzalo Lozano Soldevilla	
Profesor/a del Departamento de Biología Animal y Edafología y Geología	
y D./Dña. Ángel José Gutiérrez Fernández	
Tutor Externo	
autorizan al solicitante a presentar la Memoria del Trabajo Fin de Grado	
 Prof. Dr. Gonzalo Lozano Soldevilla Fdo.: Opto. Biología Animal y Edafología y Geología	P.O.  Fdo.:

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

La Laguna, a 2 de Julio de 2018

Firma del interesado/a



ÍNDICE

1. RESUMEN	4
ABSTRACT	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1. Los metales en el medio marino	5
2.2. Control de los niveles de metales pesados tóxicos en alimentos	5
2.3. Equipo de investigación TOXMAR – ULL.	7
2.4. Importancia del sector pesquero en España.....	7
2.5. Objetivo	7
3. MATERIAL Y MÉTODOS	8
3.1. Material biológico	8
3.2. Estudios realizados en base a los objetivos del trabajo	10
3.3. Material de laboratorio.....	11
3.4. Metodología	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1. Concentraciones de metales por especie	12
4.2. Concentraciones de metales en atún por sexo	19
4.3. Concentraciones de metales en caballa por sexo	23
4.4. Correlaciones entre especies y concentración de metales.....	28
4.5. Correlaciones entre sexo de caballas y concentración de metales	28
5. CONCLUSIONES	30
CONCLUSIONS	30
6. BIBLIOGRAFÍA.....	31

1. RESUMEN

En nuestro estudio se muestrearon 51 individuos de dos especies de peces, atún (*Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758)) y caballa canaria (*Scomber colias* (Gmelin, 1789)) que presentan un gran interés pesquero en Canarias. De las muestras se analizó el contenido de metales pesados tóxicos (Cd y Pb), traza y esenciales (Al, B, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Sr, V y Zn), y macronutrientes (Ca, K, Mg y Na) y se elaboró un estudio estadístico para comprobar si existían diferencias de concentraciones de metales entre las especies y entre los individuos machos y hembras dentro de una misma especie, así como un estudio de las posibles correlaciones entre la talla del individuo y la concentración de metales dentro de cada una de ellas. Se comprobó que las dos especies presentaban diferencias significativas en las concentraciones de metales, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas entre los individuos machos y hembras dentro de una misma especie.

Palabras clave: *Thunnus thynnus*, *Scomber colias*, Metal, Contaminación.

ABSTRACT

In our study, 51 individuals of two fish species (*Thunnus thynnus* and *Scomber colias*) were sampled, these species present a great fishing interest in the Canary Islands. From the samples, it has been studied the content of toxic heavy metals (Cd and Pb), trace and essential elements (Al, B, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Sr, V and Zn), and macronutrients (Ca, K, Mg and Na) and it has been realized a statistical study to check if there were differences in the levels of metals between the species and between the male and female individuals within the same species. It was found that the two species had differences in metal concentrations, however no differences were found between male and female individuals within the same species. Finally, it was checked whether there are correlations between the size of the individual and the quantity of metals.

Keywords: *Thunnus thynnus*, *Scomber colias*, Metal, Pollution.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Los metales en el medio marino

La mayor parte de los metales pesados llegan al medio marino debido a fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales son peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general (Acosta et al., 2002). En el medio marino se encuentran prácticamente todos los metales, los cuales son bioacumulados en uno o más componentes de la cadena alimentaria marina. Algunos metales, por ejemplo el Hg, el Cu y la Ag, son sumamente tóxicos para los organismos marinos, mientras que otros, por ejemplo el Ca, el Mg y el Na, son relativamente inocuos, además, muchos metales como el Na, el Ca, el Fe, el Mg e incluso el Zn son esenciales para la nutrición de los organismos marinos (Waldichuk, 1977).

A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no son degradados biológica o químicamente, por lo que pueden ser acumulados en altas concentraciones en los tejidos de los organismos marinos (Rainbow, 1997). Una vez bioacumulados, estos metales pueden ser transferidos hacia niveles superiores de la cadena trófica, constituyendo eventualmente una amenaza para la salud humana (Wang, 2002; Díaz et al., 2008; Whyte et al., 2009; Tapia et al., 2010).

2.2. Control de los niveles de metales pesados tóxicos en alimentos

Un metal tóxico es aquel que pertenece al grupo de elementos que no son necesarios o benéficos, y que son capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo aún a concentraciones bajas (Sitting, 1976). Los metales que se encuentran en alimentos deben su presencia a diferentes causas que van desde su obtención o cultivo hasta su industrialización y distribución.

Algunos metales como el Pb o el Hg pueden considerarse como tóxicos sistémicos, es decir que pueden afectar a más de un órgano si son ingeridos (sistema gastrointestinal) y distribuidos a diferentes órganos por la sangre (Vega et al., 1991). Los metales pueden jugar un papel importante en el metabolismo normal, por ejemplo: Ca, K, Na, Mg, Fe, Zn... o bien tóxicos: Cd, Pb, Hg... (Reilly, 2008).

Cadmio

Se trata de un contaminante reciente utilizado en numerosas industrias. Se encuentra en la naturaleza ligado al Zn con quien presenta fuertes analogías químicas. En los

sistemas biológicos puede competir con el Zn, el Cu y el Ca por los sitios de unión de estos elementos en las macromoléculas. Su competencia con el Ca, se debe a que en el estado iónico (Cd^{2+}) presenta un radio iónico semejante a ese elemento; esto lleva a que pueda remplazarlo en los huesos, dando como resultado a la deformación de los mismos (Salazar-Lugo, 2009). A nivel molecular, su efecto está relacionado con la inhibición parcial de la cadena transportadora de electrones, específicamente a nivel del complejo III en el sitio de unión de la semiubiquinona, afectando la transferencia de electrones; la semiubiquinona, es conocida porque transfiere un electrón al oxígeno molecular para formar el anión superóxido, y esto explica el efecto oxidativo inducido por este metal en las células. El Cd puede acumularse en el riñón y en el hígado e induce inmunosupresión (Nordberg, 2009).

Plomo

El Pb, al igual que el Hg, es conocido desde la antigüedad y su toxicidad se ha asociado a la enfermedad denominada como saturnismo, que resulta de la competencia de este metal con el Fe, interfiriendo en la síntesis de ferroporfirinas (Salazar-Lugo, 2009). No está del todo claro el mecanismo molecular por medio del cual este elemento produce neurotoxicidad y carcinogénesis, pero las evidencias demuestran que interfiere en la ruta de traducción de señales, de manera particular con las proteinquinasas dependientes del Ca, las cuales juegan un rol importante en la proliferación celular. De allí que se piense que compite con el Ca y estimula la progresión del ciclo celular (Lu et al., 2001).

Aluminio

El Al es un metal no esencial, pero de gran uso en diversos campos de la actividad humana (Karel et al., 1975). No se le consideró iatrogénico ni tóxico, hasta que se asoció con las enfermedades inherentes a la diálisis renal. Las más severas complicaciones ocurren en estos pacientes, cuyos riñones no funcionan y deben ejecutarles diálisis para eliminar tóxicos que normalmente removerían los riñones, y están expuestos a contaminación por aluminio en las disoluciones dializadoras (Harte, 1991).

Tabla 1. Concentraciones de metales tóxicos regulados por la legislación europea en *Thunnus thynnus* y *Scomber colias*.

Metales tóxicos regulados (Legislación CE) (BOE, 1991).

	atún rojo	caballa Canaria
Metal	Contenido máximo (mg/kg peso fresco (ph))	
Pb	0,30	0,30
Cd	0,10	0,05
Metales tóxicos no regulados (Recomendaciones)		
	atún rojo	caballa Canaria
Metal	Umbral establecido por la EFSA (European Food Safety Authority). Media e intervalo (mg/kg peso fresco (ph))	
Al	3,4 (1,4 a 6,6) (López et al., 2000)	3,4 (1,4 a 6,6) (López et al., 2000)

2.3. Equipo de investigación TOXMAR – ULL.

El equipo de investigación TOXMAR (Toxicología y Contaminación Marina) de la Universidad de La Laguna (TOXMAR - ULL) desde el año 1972 viene desarrollando diferentes estudios relacionados con la composición general y el contenido de macrominerales y metales pesados tóxicos, de gran cantidad de especies marinas de moluscos, crustáceos y peces de interés pesquero y alimentario de las aguas del Archipiélago Canario y del Sáhara. Así mismo se han estudiado especies importadas de zonas geográficas más o menos lejanas, bien en fresco o manufacturadas en forma de congelados, conservas y semiconservas, de indudable consumo habitual entre la población canaria (Soldevilla, 2010).

2.4. Importancia del sector pesquero en España

La participación del sector pesquero en la actividad económica de España es muy parecida a la media de la UE, y se sitúa alrededor del 1% del PIB. Su importancia es mayor en las regiones del noroeste y norte de España, sin olvidar otras regiones, especialmente Andalucía y Canarias (Anadón et al., 2005).

En las Islas Canarias estas dos especies son objeto de la pesca artesanal y son altamente rentables por su demanda entre la población isleña. El atún rojo se captura durante los meses de mayo y junio mediante un sistema de cuotas de captura que permite un máximo que no llega a las 300 t anuales, mientras que la caballa tiene capturas más amplias desde el punto de vista temporal y sin límites de captura. Dentro de cada una de ellas, las tallas mínimas son de 30kg/115 cm en atún rojo y 20 cm en caballa canaria.

2.5. Objetivo

Este estudio tiene como principal objetivo determinar si las especies estudiadas son aptas para el consumo humano o si por el contrario presentan algún riesgo para la salud. Además, en dicho estudio hemos analizado las diferencias de concentración entre ambas especies y las relaciones entre la concentración de los metales y el peso del animal para comprobar si existe bioacumulación.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material biológico

Atún rojo: *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758)

- Morfología
Cuerpo fusiforme y robusto, perfectamente adaptado para la natación. Color azul oscuro en el dorso. Las zonas inferiores del vientre de color blanco plateado con líneas transversales incoloras alternándose con hileras de puntos. La primera aleta dorsal es de color amarillento o azulado; la segunda rojiza o marrón; la aleta anal y las pínulas son de color amarillo oscuro, ribeteadas de blanco; las carenas caudales son negras en los adultos y transparentes en los juveniles. Presencia de vejiga natatoria (Bauchot, 1986; Collette y Nauen, 1983) (Figura 1).
- Biología de la especie
Es un teleósteo perteneciente a la familia Scombridae (Collette, 2002). Es una especie de gran tamaño, que puede alcanzar 3 metros de longitud y 600 kg de peso (Cort, 2007). Se han citado ejemplares de más de 15 años (Cort, 2007). Se trata de un gran nadador, alcanzando una velocidad media de 5,9 km/h y una máxima de entre 13 y 31 km/h (Lutcavage et al., 2000).
- Hábitat
Es un pez pelágico, marino oceánico que se distribuye en un rango de profundidades desde 0 hasta 1.000 m (Crespo, 2004). Aunque se trata de una especie de aguas abiertas, estacionalmente puede acercarse a la costa, tolerando una amplia gama de temperaturas (Collette y Nauen, 1983).
- Hábitos alimentarios
En general, los juveniles se alimentan principalmente de pequeños pelágicos (boquerón (*Engraulis encrasicolus*), Clupeidos y especies afines) aunque los invertebrados (cefalópodos y pequeños crustáceos) contribuyen significativamente a la dieta. Los subadultos y adultos se alimentan de crustáceos

mesopelágicos (*Sergia robusta*, *Acanthephyra pelagica*, *Pasiphaea spp.*) como principal fuente de alimento, seguido de peces mesopelágicos (*Stomiidae* y *Myctophidae*) y clupeidos, además de calamares (Baron, 2017).



Fig 1. *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758)

Caballa: *Scomber colias* (Gmelin, 1789)

○ Morfología

Cuerpo alargado y redondeado, hocico puntiagudo, pedúnculo caudal delgado. Márgenes frontales y posteriores del ojo cubiertos por párpados adiposos. Dos aletas dorsales ampliamente separadas, una pequeña aleta entre las aletas pélvicas. Escamas detrás de la cabeza y alrededor de las aletas pectorales más grandes y visibles que las que cubren el resto del cuerpo. Dos quillas pequeñas a cada lado del pedúnculo caudal, pero sin quilla central entre ellas. La coloración del dorso es azul metálico con líneas transversales onduladas y en zig-zag más oscuras; la zona ventral y la parte inferior amarillo plateado con numerosas manchas redondeadas débilmente marcadas (Collette, 2002), (Figura 2).

○ Biología de la especie

Es un teleósteo perteneciente a la clase Osteichthyes, orden Perciformes (Berg, 1947), suborden Scombroidei y familia Scombridae. La familia está estrechamente relacionada con la familia Thunnidae que incluye los grandes túnidos (Nelson, 1994). Es un pez de tamaño medio, puede alcanzar una talla de 62 cm, siendo comunes medias de 15 a 30 cm y vivir más de 20 años (Navarro et al., 2012).

○ Hábitat

Especie epipelágica, que habita en aguas tropicales y templadas, normalmente cerca de la costa (Bonecker et al., 2014). Al igual que la mayoría de los escómbridos, la caballa canaria es una especie altamente migratoria en la

plataforma continental, y se distribuye principalmente a profundidades de hasta 250-300 m (Miller 1986, Uriarte et al., 2001, Villamor et al. 2004).

- Hábitos alimentarios

Se alimentan principalmente de zooplancton y algunos peces pelágicos pequeños y son un elemento esencial de la dieta de peces pelágicos más grandes (atún, pez espada, tiburones...) y mamíferos marinos (delfines, focas...) (Zardoya et al., 2004).

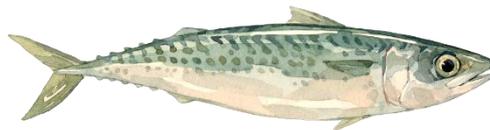


Fig 2. *Scomber colias* (Gmelin, 1789)

En nuestro trabajo de investigación se han muestreado 27 ejemplares de *Thunnus thynnus*, de los cuales 18 son machos y 9 hembras frente a los 24 ejemplares de *Scomber colias*, de los cuales 11 son machos y 13 son hembras.

3.2. Estudios realizados en base a los objetivos del trabajo

Estudio biométrico

Se ha realizado un análisis estadístico descriptivo de la longitud estándar y los pesos de los individuos.

Estudio del peso seco, % de humedad

Consiste en el análisis estadístico descriptivo de las variables peso seco, % de humedad y la comparación estadística de sus medias entre especies.

Determinación de metales pesados tóxicos, traza y esenciales, y macronutrientes.

Consiste en la determinación de los niveles medios metálicos presentes en músculo, de las dos especies de estudio, y el establecimiento de diferencias estadísticas entre especies, si las hubiera. Hemos elegido el músculo, por ser una fuente de proteínas y nutrientes baja en colesterol, de primer orden entre la población (Storelli 2008; Groth, 2010; FAO, 2010a y b).

Estudio del sexo.

Consiste en la comparación de las medias metálicas determinadas en cada especie, teniendo en cuenta el sexo de los ejemplares, con el objetivo de determinar la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre las medias metálicas halladas.

3.3. Material de laboratorio

- Bisturí de hojas desechables de acero inoxidable.
- Pocillos de porcelana.
- Balanza analítica Mettler Toledo.
- Matraces Erlenmeyer 250 mL.
- Botes de orina esterilizados de 100 mL.
- Rotulador permanente.
- Vasos de precipitado.
- Varillas de vidrio.
- Horno-mufla Nabertherm.
- Placa calefactora Plactronic Grupo Selecta.

Reactivos y disoluciones.

- Ácido Nítrico 65% (M: 63.01) Panreac.
- Disolución de HCl al 1,5%.

3.4. Metodología

Preparación de las muestras analíticas.

- a) Se extrajo una porción aproximada de 10 gramos de masa muscular de la zona de la musculatura medio dorsal de cada ejemplar.
- b) Se mantuvo en estufa durante 24 horas a una temperatura de +70°C para conocer el peso seco constante, para posteriormente determinar el % de humedad de cada muestra (Figura 3).
- c) Tras 24 horas en estufa y una vez obtenido el peso seco constante, se introduce en horno-mufla durante 48 horas con objeto de incinerar la muestra. La temperatura que se debe alcanzar es de aproximadamente + 450°C.
- d) Tras este periodo de tiempo se deberían haber obtenido unas cenizas blancas. Como las cenizas no fueron totalmente blancas, se añadió HNO₃ al 65%, evaporando nuevamente y repitiendo el proceso de calcinación en el horno-mufla, esta vez

durante solo 24 horas. Las cenizas que no son totalmente blancas nos indican la presencia de materia orgánica, la cual debe ser mineralizada (Figura 4 y 5).

- e) Obtenidas las cenizas blancas y disueltas se aforaron las muestras a 25 mL de una disolución de 1,5% HCl, quedando de esta manera listas para su análisis, lectura mediante ICP-OES (espectrofotómetro atómico de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente) (Lozano-Bilbao et al., 2018).



Fig. 3.



Fig. 4



Fig. 5

Figuras 3. Muestra de caballa tras su paso por la estufa; **4.** Muestra incinerada de caballa con materia orgánica; **5.** Muestra incinerada de caballa sin materia orgánica.

Análisis estadístico.

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el programa IBM Statistic SPSS v22.0. En cada análisis se llevó a cabo el mismo procedimiento para comprobar si los datos seguían una distribución normal, cumpliendo para ello que existiera normalidad y una homogeneidad de las varianzas, utilizando un P valor de 0,05. Para comprobar la existencia o no de normalidad en los datos, se realizaron los test de normalidad (Test de Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de las varianzas (Estadístico de Levene). Si los datos seguían una distribución normal se aplicó T de student, (ya que había 2 grupos de muestras). A todos los datos no normales se les aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para comprobar entre qué tipos de muestras existían diferencias significativas (Lozano-Bilbao et al., 2018).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentraciones de metales por especie

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de las diferentes variables, de las dos especies estudiadas (talla en cm, metales en mg/kg ph).

	Especie	Media	Desv. Estándar
Talla	atún	228,778	11,975
	caballa canaria	26,304	2,759
Al	atún	28,908	21,221
	caballa canaria	4,664	2,105
B	atún	0,441	0,275
	caballa canaria	0,243	0,077
Ba	atún	0,777	0,688
	caballa canaria	0,455	0,168
Ca	atún	2131,013	2081,550
	caballa canaria	183,676	56,460
Cd	atún	0,054	0,037
	caballa canaria	0,009	0,003
Co	atún	0,060	0,046
	caballa canaria	0,009	0,003
Cr	atún	0,751	0,568
	caballa canaria	0,101	0,024
Cu	atún	1,919	1,259
	caballa canaria	0,983	0,320
Fe	atún	100,048	93,690
	caballa canaria	6,446	1,521
K	atún	5103,990	3859,890
	caballa canaria	4288,470	328,441
Li	atún	0,709	0,992
	caballa canaria	0,354	0,181
Mg	atún	575,157	397,744
	caballa canaria	370,880	29,153
Mn	atún	0,665	0,686
	caballa canaria	0,092	0,040
Mo	atún	0,044	0,031
	caballa canaria	0,009	0,004
Na	atún	2029,771	1719,044
	caballa canaria	735,693	117,665

Ni	atún	11,450	9,276
	caballa canaria	0,038	0,022
Pb	atún	0,326	0,308
	caballa canaria	0,026	0,009
Sr	atún	3,728	3,411
	caballa canaria	0,817	0,411
V	atún	0,070	0,081
	caballa canaria	0,029	0,018
Zn	atún	14,919	11,153
	caballa canaria	6,473	2,018

Podemos observar una mayor concentración de metales en el atún, puesto que es un animal de mayor tamaño y situado más arriba en la red trófica marina respecto a la caballa. Considerando que los elementos traza se transfieren en las redes tróficas acuáticas (Wang, 2002), pudiendo llegar a ser tóxicos cuando la acumulación en los tejidos de los organismos alcanza un nivel crítico (Fisher & Hook, 2002), es la razón por la que el atún al encontrarse en una posición más alta en la red trófica presenta unas mayores concentraciones de metales en comparación con la caballa (Tabla 2).

En el estudio de Besada et al. (2006) se hace referencia al contenido de metales pesados en muestras obtenidas del peso húmedo de atún blanco (*Thunnus alalunga*), rabil (*Thunnus albacares*) y patudo (*Thunnus obesus*), tres especies del género *Thunnus* ligados a las costas portuguesas, dando valores de Cd (medias de: 0,013; 0,004; 0,010 mg/kg ph respectivamente), Cu (medias de: 0,348; 0,297; 0,279 mg/kg ph respectivamente), Pb (rango de: <0,002 – 0,048 mg/kg ph) y Zn (medias de: 4,48; 4,82; 4,00 mg/kg ph respectivamente). Realizando una comparación podemos observar que todas las concentraciones de las tres especies estudiadas en dicho trabajo presentan rangos muy inferiores a los obtenidos en *Thunnus thynnus* en el nuestro: Cd (media: 0,05389 mg/kg ph), Cu (1,91930 mg/kg ph), Pb (0,32570 mg/kg ph), Zn (14,91944 mg/kg ph).

Con respecto a la caballa canaria, si hacemos una comparación con los niveles de metales del estudio de Bilandzic et al. (2011) en el cual se hace referencia al contenido de metales pesados en el estornino (*Scomber japonicus*), podemos comprobar que los valores de Cd (media de: 0,13 mg/kg ph), Cu (media de: 0.006 mg/kg ph) y de Pb (media de: 0.01 mg/kg ph) obtenidos en dicho estudio, son muy similares a los obtenidos en la caballa canaria (*Scomber colias*) del nuestro. Siendo los valores de la caballa de Cd

(media de: 0,983 mg/kg ph), Cu (media de: 0,009 mg/kg ph) y de Pb (media de: 0,026 mg/kg ph), ligeramente superiores a los del estornino. Ambas especies eran consideradas una misma especie, pero en el estudio realizado por Catanese et al. (2010) se realizaron análisis filogenéticos de MP usando secuencias de codificación concatenadas demostrando que *S. colias* del Atlántico y *S. japonicus* del Pacífico se agrupaban en distintos linajes dentro del clado *Scomber*, constituyendo un fuerte apoyo al reconocimiento como dos especies separadas.

Tabla 3. Análisis estadísticos realizados para comprobar la existencia o no de normalidad en los datos de las dos especies.

	Especie	Kolmogorov-Smirnov Normalidad	Estadístico de Levene Homogeneidad Var.
		Sig.	Sig.
Talla	atún	,200*	,000
	caballa	,111	,000
Al	atún	,004	,000
	caballa	,001	,000
B	atún	,133	,000
	caballa	,199	,000
Ba	atún	,000	,000
	caballa	,200*	,000
Ca	atún	,011	,000
	caballa	,050	,000
Cd	atún	,071	,000
	caballa	,018	,000
Co	atún	,000	,000
	caballa	,009	,000
Cr	atún	,001	,000
	caballa	,069	,000
Cu	atún	,022	,000
	caballa	,200*	,000
Fe	atún	,001	,000
	caballa	,200*	,000
K	atún	,015	,000
	caballa	,200*	,000

Li	atún	,000	,000
	caballa	,200*	,000
Mg	atún	,200*	,000
	caballa	,200*	,000
Mn	atún	,003	,000
	caballa	,195	,000
Mo	atún	,019	,000
	caballa	,000	,000
Na	atún	,013	,000
	caballa	,200*	,000
Ni	atún	,043	,000
	caballa	,073	,000
Pb	atún	,009	,000
	caballa	,075	,000
Sr	atún	,166	,000
	caballa	,079	,000
V	atún	,000	,000
	caballa	,000	,000
Zn	atún	,134	,000
	caballa	,126	,000

No existe homogeneidad de las varianzas, por lo que no existe normalidad de las variables (Tabla 3). Se procedió a realizar el test U de Mann-Whitney (Tabla 4), para comprobar entre qué variables existían diferencias significativas respecto a la concentración de metales.

Tabla 4. Test U de Mann-Whitney.

Hipótesis nula	Sig.	Decisión
La distribución de Talla es la misma entre las categorías de Especie.	,000	Rechace la hipótesis nula
La distribución de Al es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de B es la misma entre las categorías de Especie.	,004	
La distribución de Ba es la misma entre las categorías de Especie.	,637	Conserve la hipótesis nula

La distribución de Ca es la misma entre las categorías de Especie.	,000	Rechace la hipótesis nula
La distribución de Cd es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Co es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Cr es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Cu es la misma entre las categorías de Especie.	,028	
La distribución de Fe es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de K es la misma entre las categorías de Especie.	,777	Conserve la hipótesis nula
La distribución de Li es la misma entre las categorías de Especie.	,555	
La distribución de Mg es la misma entre las categorías de Especie.	,157	
La distribución de Mn es la misma entre las categorías de Especie.	,000	Rechace la hipótesis nula
La distribución de Mo es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Na es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Ni es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Pb es la misma entre las categorías de Especie.	,000	
La distribución de Sr es la misma entre las categorías de Especie.	,001	
La distribución de V es la misma entre las categorías de Especie.	,162	
La distribución de Zn es la misma entre las categorías de Especie.	0,002	Rechace la hipótesis nula

Observamos que existe diferencia significativa en las variables: Talla; Al; B; Ca; Cd; B; Co; Cr; Cu; Fe; Mn; Mo; Na; Ni; Pb; Sr; Zn; entre ambas especies.

Por el contrario, no observamos diferencia significativa en las variables: Ba; K; Li; Mg; V; entre ambas especies (Tabla 4).

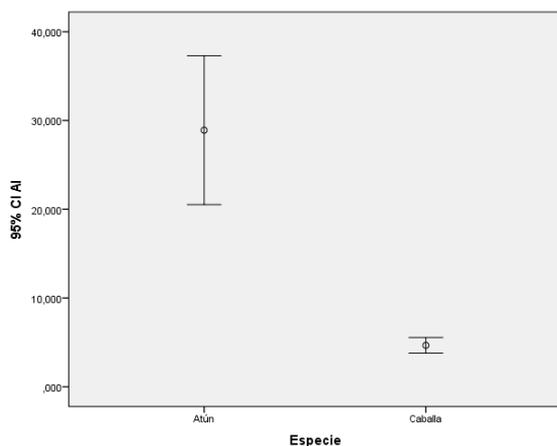


Gráfico 1. Al en músculo, concentraciones medias en ambas especies (mg/kg ph)

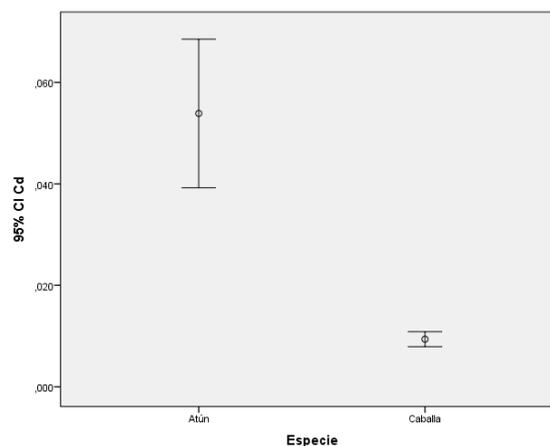


Gráfico 2. Cd en músculo, concentraciones medias en ambas especies (mg/kg ph)

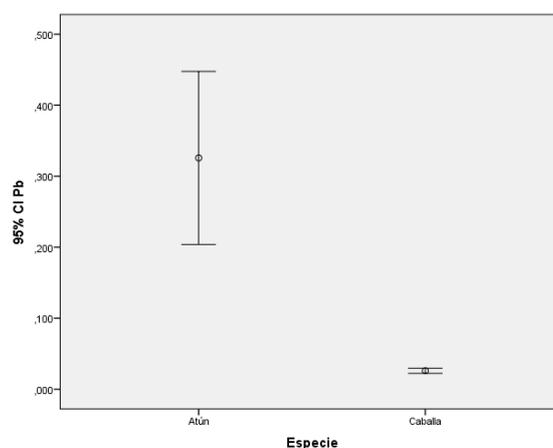


Gráfico 3. Pb en músculo, concentraciones medias en ambas especies (mg/kg ph)

Los contenidos máximos recomendados por la legislación europea vigente de aluminio son de 1,4 a 6,6 mg/kg, las medias en caballa se ajustan a estos límites, sin embargo, en atún observamos una media muy por encima de estos límites: 28,90752 mg/kg (Gráfico 1). No se han encontrado evidencias que indiquen que el aluminio sea cancerígeno o mutagénico pero algunos estudios realizados con animales han demostrado que tiene propiedades embriotóxicas. Los efectos dependen de las dosis, de la vía de administración y del estadio de desarrollo del embrión al momento de la exposición (Varsavsky, 2002). Por consiguiente, podemos afirmar que no presenta ningún riesgo ingerir las especies objeto de estudio, siempre que la ingesta sea adecuada y no excesiva.

En cuanto a los contenidos máximos permitidos por la legislación europea vigente, las medias de cadmio determinadas en ambas especies se encuentran dentro de los límites de consumo de carne de pescado de 0,05(caballa) – 0,1 (atún) mg/kg ph establecidos en el Reglamento (CE) 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 (Gráfico 2).

Con respecto a los niveles máximos de plomo permitido en carne de pescado, los contenidos medios en caballa son 15 veces menores que el límite máximo legal de 0,3 mg/kg ph, mientras que los contenidos medios en atún son ligeramente superiores con una media de 0,32570 mg/kg ph (Gráfico 3).

La toxicidad por parte del plomo se presenta con encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales. La toxicidad crónica es la más frecuente y se manifiesta con compromiso multisistémico: hematopoyético, del sistema nervioso, gastrointestinal, renal y sistema reproductor (Infantas, 2005). Debido a que este metal presenta una alta toxicidad, debemos llevar un seguimiento estricto. En nuestro estudio tiene valores aceptables y no presenta ningún riesgo ingerir las especies objeto de estudio.

4.2. Concentraciones de metales en atún por sexo

Tabla 5. Medias y desviaciones estándar por sexo en las diferentes variables (talla en cm, metales en mg/kg ph) de *Thunnus thynnus*.

	Sexo	Media	Desv. estándar
Talla	Hembra	220,333	2,749
	Macho	233,000	2,858
Al	Hembra	24,876	4,304
	Macho	30,189	6,059
B	Hembra	0,501	0,114
	Macho	0,406	0,059
Ba	Hembra	0,915	0,225
	Macho	0,652	0,165
Ca	Hembra	2434,650	776,953
	Macho	1685,676	390,998
Cd	Hembra	0,054	0,011
	Macho	0,049	0,008
Co	Hembra	0,072	0,016
	Macho	0,053	0,011
Cr	Hembra	0,839	0,155
	Macho	0,989	0,314
Cu	Hembra	2,139	0,424
	Macho	1,741	0,310
Fe	Hembra	123,258	36,725

	Macho	91,136	21,146
K	Hembra	5946,409	1401,373
	Macho	4418,155	888,989
Li	Hembra	0,535	0,235
	Macho	0,843	0,275
Mg	Hembra	603,252	128,954
	Macho	513,103	89,936
Mn	Hembra	0,818	0,246
	Macho	0,583	0,167
Mo	Hembra	0,042	0,008
	Macho	0,044	0,008
Na	Hembra	2354,403	836,567
	Macho	1840,007	301,899
Ni	Hembra	13,611	3,548
	Macho	10,056	2,133
Pb	Hembra	0,296	0,068
	Macho	0,328	0,087
Sr	Hembra	4,310	1,345
	Macho	3,639	0,755
V	Hembra	0,065	0,022
	Macho	0,075	0,022
Zn	Hembra	15,873	3,399
	Macho	14,323	2,962

Observamos que las hembras presentan un menor tamaño que los machos.

Tabla 6. Análisis estadísticos realizados para comprobar la existencia o no de normalidad en los datos de ambos sexos (talla en cm, metales en mg/kg ph).

	Sexo	Kolmogorov-Smirnov Normalidad	Estadístico de Levene Homogeneidad Var.
		Sig.	Sig.
Talla	Hembra	,178	,099
	Macho	,200*	
Al	Hembra	,200*	,046
	Macho	,003	
B	Hembra	,200*	,285

	Macho	,090	
Ba	Hembra	,074	,667
	Macho	,000	
Ca	Hembra	,146	,289
	Macho	,182	
Cd	Hembra	,200*	,711
	Macho	,062	
Co	Hembra	,200*	,861
	Macho	,033	
Cr	Hembra	,200*	,118
	Macho	,003	
Cu	Hembra	,200*	,965
	Macho	,012	
Fe	Hembra	,142	,174
	Macho	,016	
K	Hembra	,200*	,735
	Macho	,011	
Li	Hembra	,005	,152
	Macho	,001	
Mg	Hembra	,200*	,815
	Macho	,200*	
Mn	Hembra	,050	,310
	Macho	,012	
Mo	Hembra	,200*	,239
	Macho	,011	
Na	Hembra	,000	,423
	Macho	,200*	
Ni	Hembra	,200*	,280
	Macho	,042	
Pb	Hembra	,200*	,544
	Macho	,002	
Sr	Hembra	,200*	,730
	Macho	,189	
V	Hembra	,040	,571
	Macho	,002	

Zn	Hembra	,200*	,442
	Macho	,011	

Las variables Talla y B presentan normalidad, por lo que se le aplica una prueba paramétrica, T-student (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba T-student.

		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Talla	Se asumen varianzas iguales	,007	12,6667	4,2942	3,8226	21,5107
	No se asumen varianzas iguales	,003	12,6667	3,8493	4,6717	20,6616
B	Se asumen varianzas iguales	,436	-,089389	,112914	-,321940	,143163
	No se asumen varianzas iguales	,496	-,089389	,127263	-,366509	,187731

No existe diferencia significativa entre las variables Talla ni en la concentración de B entre ambos sexos (Tabla 7).

El resto de variables no presenta normalidad, por lo que se les aplica la prueba no paramétrica, U de Mann-Whitney (Tabla 8).

Tabla 8. Test U de Mann-Whitney.

Hipótesis nula	Sig.	Decisión
La distribución de A1 es la misma entre las categorías de Sexo.	,900	Conserve la hipótesis nula Conserve la hipótesis nula
La distribución de Ba es la misma entre las categorías de Sexo.	,176	
La distribución de Ca es la misma entre las categorías de Sexo.	,403	
La distribución de Cd es la misma entre las categorías de Sexo.	,781	
La distribución de Co es la misma entre las categorías de Sexo.	,263	
La distribución de Cr es la misma entre las categorías de Sexo.	,298	
La distribución de Cu es la misma entre las categorías de Sexo.	,561	

La distribución de Fe es la misma entre las categorías de Sexo.	,561
La distribución de K es la misma entre las categorías de Sexo.	,433
La distribución de Li es la misma entre las categorías de Sexo.	,705
La distribución de Mg es la misma entre las categorías de Sexo.	,743
La distribución de Mn es la misma entre las categorías de Sexo.	,495
La distribución de Mo es la misma entre las categorías de Sexo.	,940
La distribución de Na es la misma entre las categorías de Sexo.	,900
La distribución de Ni es la misma entre las categorías de Sexo.	,596
La distribución de Pb es la misma entre las categorías de Sexo.	,860
La distribución de Sr es la misma entre las categorías de Sexo.	,596
La distribución de V es la misma entre las categorías de Sexo.	,860
La distribución de Zn es la misma entre las categorías de Sexo.	,561

El valor P es menor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula. Por lo que diremos que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de metales de ambos sexos.

4.3. Concentraciones de metales en caballa por sexo

Tabla 9. Medias y desviaciones estándar por sexo en las diferentes variables (talla en cm, metales en mg/kg ph) de *Scomber colias*.

	Sexo	Media	Desv. estándar
Talla	Hembra	26,108	0,750
	Macho	26,536	0,886
Al	Hembra	5,201	0,648
	Macho	4,030	0,507
B	Hembra	0,231	0,017
	Macho	0,257	0,028
Ba	Hembra	0,435	0,055
	Macho	0,478	0,039
Ca	Hembra	174,916	13,840
	Macho	194,029	19,367

Cd	Hembra	0,009	0,001
	Macho	0,010	0,001
Co	Hembra	0,009	0,001
	Macho	0,009	0,001
Cr	Hembra	0,094	0,006
	Macho	0,108	0,008
Cu	Hembra	0,986	0,094
	Macho	0,979	0,094
Fe	Hembra	6,784	0,431
	Macho	6,046	0,437
K	Hembra	4351,057	104,063
	Macho	4214,503	78,663
Li	Hembra	0,378	0,061
	Macho	0,327	0,039
Mg	Hembra	367,622	7,479
	Macho	374,729	9,780
Mn	Hembra	0,103	0,014
	Macho	0,079	0,006
Mo	Hembra	0,008	0,000
	Macho	0,010	0,002
Na	Hembra	719,926	35,692
	Macho	754,326	32,003
Ni	Hembra	0,038	0,008
	Macho	0,037	0,005
Pb	Hembra	0,026	0,001
	Macho	0,026	0,004
Sr	Hembra	0,703	0,065
	Macho	0,952	0,161
V	Hembra	0,031	0,005
	Macho	0,026	0,005
Zn	Hembra	6,693	0,614
	Macho	6,212	0,552

Observamos que no existe diferencia significativa entre el tamaño de los individuos machos y los individuos hembra.

Tabla 10. Análisis estadísticos realizados para comprobar la existencia o no de normalidad en los datos de ambos sexos.

	Sexo	Kolmogorov-Smirnov	Estadístico de Levene
		Normalidad	Homogeneidad Var.
		Sig.	Sig.
Talla	Hembra	,200*	,678
	Macho	,200*	
Al	Hembra	,004	,637
	Macho	,200*	
B	Hembra	,200*	,790
	Macho	,037	
Ba	Hembra	,186	,195
	Macho	,200*	
Ca	Hembra	,200*	,369
	Macho	,194	
Cd	Hembra	,151	,756
	Macho	,061	
Co	Hembra	,004	,407
	Macho	,200*	
Cr	Hembra	,091	,503
	Macho	,200*	
Cu	Hembra	,200*	,848
	Macho	,200*	
Fe	Hembra	,200*	,825
	Macho	,020	
K	Hembra	,118	,340
	Macho	,200*	
Li	Hembra	,063	,145
	Macho	,200*	
Mg	Hembra	,083	,839
	Macho	,200*	
Mn	Hembra	,200*	,018
	Macho	,200*	
Mo	Hembra	,014	,018
	Macho	,000	

Na	Hembra	,027	,797
	Macho	,200*	
Ni	Hembra	,000	,108
	Macho	,200*	
Pb	Hembra	,150	,069
	Macho	,019	
Sr	Hembra	,195	,044
	Macho	,200*	
V	Hembra	,006	,577
	Macho	,002	
Zn	Hembra	,200*	,780
	Macho	,062	

Las variables Talla, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg y Sr presentan normalidad, por lo que se le aplica una T-student (Tabla 11).

Tabla 11. Prueba T-student.

		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Talla	Se asumen varianzas iguales	,713	,4287	1,1522	-1,9609	2,8183
	No se asumen varianzas iguales	,716	,4287	1,1606	-1,9875	2,8448
Ba	Se asumen varianzas iguales	,550	,042392	,069852	-,10247	,187255
	No se asumen varianzas iguales	,536	,042392	,067429	-,09793	,182713
Ca	Se asumen varianzas iguales	,421	19,113091	23,296240	-29,200	67,4265
	No se asumen varianzas iguales	,432	19,113091	23,804098	-30,755	68,9812
Cd	Se asumen varianzas iguales	,306	,001490	,001420	-,00146	,004435
	No se asumen varianzas iguales	,314	,001490	,001442	-,00152	,004502

Co	Se asumen varianzas iguales	,852	,000259	,001371	-,00259	,003103
	No se asumen varianzas iguales	,849	,000259	,001341	-,00252	,003042
Cr	Se asumen varianzas iguales	,144	,014531	,009586	-,00535	,034412
	No se asumen varianzas iguales	,151	,014531	,009723	-,00576	,034827
Cu	Se asumen varianzas iguales	,957	-,007350	,133941	-,285126	,270426
	No se asumen varianzas iguales	,956	-,007350	,132976	-,283259	,268560
Fe	Se asumen varianzas iguales	,245	-,737846	,617562	-2,018592	,542900
	No se asumen varianzas iguales	,242	-,737846	,613879	-2,011785	,536093
K	Se asumen varianzas iguales	,321	-136,55362	134,461911	-415,4105	142,303
	No se asumen varianzas iguales	,307	-136,55362	130,448590	-407,6113	134,504
Li	Se asumen varianzas iguales	,505	-,050902	,075167	-,206789	,104984
	No se asumen varianzas iguales	,489	-,050902	,072127	-,201364	,099559
Mg	Se asumen varianzas iguales	,563	7,107147	12,117424	-18,02285	32,2371
	No se asumen varianzas iguales	,570	7,107147	12,311824	-18,6131	32,8274
Sr	Se asumen varianzas iguales	,143	,248860	,163722	-,090679	,588400
	No se asumen varianzas iguales	,175	,248860	,173755	-,125949	,623670

No existe diferencia significativa entre las concentraciones de metales de ambos sexos, ni en la variable Talla (Tabla 11).

Las variables Al, B, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, V, Zn no presentan normalidad, por lo que se le aplica U de Mann-Whitney (Tabla 12).

Tabla 12. Test U de Mann-Whitney.

Hipótesis nula	Sig.	Decisión
La distribución de Al es la misma entre las categorías de Sexo.	,186	Conserve la hipótesis nula
La distribución de B es la misma entre las categorías de Sexo.	,531	
La distribución de Mn es la misma entre las categorías de Sexo.	,277	
La distribución de Mo es la misma entre las categorías de Sexo.	,106	
La distribución de Na es la misma entre las categorías de Sexo.	,228	
La distribución de Ni es la misma entre las categorías de Sexo.	,361	
La distribución de Pb es la misma entre las categorías de Sexo.	,569	
La distribución de V es la misma entre las categorías de Sexo.	,733	
La distribución de Zn es la misma entre las categorías de Sexo.	,820	

El valor P es menor que el nivel de significancia, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula. Por lo que diremos que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de metales de ambos sexos.

4.4. Correlaciones entre especies y concentración de metales

Hemos estudiado si existen correlaciones no paramétricas entre la talla de los individuos de la especie *Thunnus thynnus* y las concentraciones de metales mediante la prueba Rho de Spearman y se comprueba que no existe alguna correlación.

También se ha estudiado si existen correlaciones no paramétricas entre la talla de los individuos de la especie *Scomber colias* y las concentraciones de metales mediante la prueba Rho de Spearman y se comprueba que existen algunas correlaciones de determinados metales, razón por la que se pasa a un estudio de la correlación entre las tallas de los individuos machos e individuos hembra y las concentraciones de metales.

4.5. Correlaciones entre sexo de caballas y concentración de metales

En individuos machos observamos:

- Correlación positiva Talla/Metal, en los metales Ca, Cr, Ni y Sr.
- Correlación negativa Talla/Metal, en V.

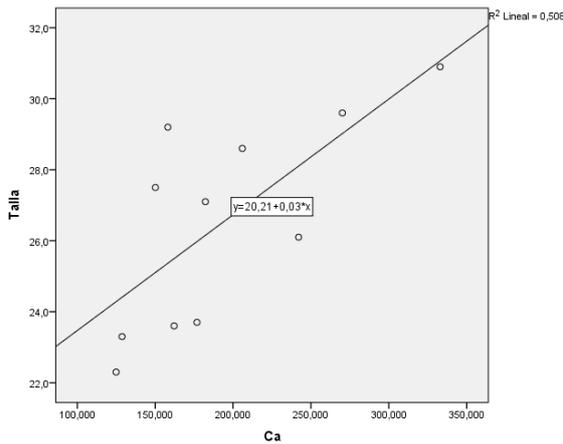


Gráfico 4: Correlación positiva entre la talla del individuo macho (cm) y la concentración del metal Ca (mg/kg ph).

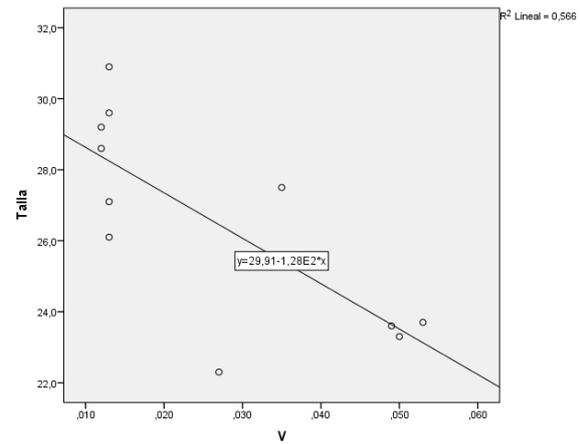


Gráfico 5: Correlación negativa entre la talla del individuo macho (cm) y la concentración del metal V (mg/kg ph).

En individuos hembra observamos:

- Correlación negativa Talla/Metal, en los metales Cu y V.

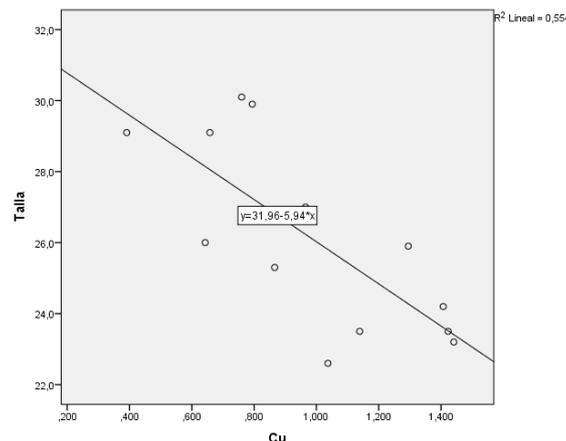


Gráfico 6: Correlación negativa entre la talla del individuo hembra (cm) y la concentración del metal Cu (mg/kg ph).

Observamos una correlación negativa del metal V frente a la talla del individuo, tanto en hembra como en machos. Si tenemos en cuenta el trabajo realizado por Zarazúa y Ávila (1993), en el cual se analizaron las concentraciones de V en aguas superficiales, en aguas de profundidad media así como en sedimento, obteniéndose como resultado que las concentraciones eran más altas en las zonas cercanas a la unión al río, disminuyendo éstas conforme se alejaban del mismo, podríamos plantear una hipótesis, la cual sería: las caballas cuando son jóvenes se encuentran en zonas más cercanas a la costa, y cuando son adultas se desplazan a zonas más alejadas de la costa, por lo que la concentración de V es menor (El V va disminuyendo con la talla).

5. CONCLUSIONES

Los ejemplares de *Thunnus thynnus* presentan unas concentraciones más altas de metales que los ejemplares de *Scomber colias*. Esto es debido a que la especie presenta un mayor tamaño, y se encuentra en una posición más alta en la red trófica.

Los niveles de concentración de Al encontrados en las muestras de *Thunnus thynnus* fueron superiores a los recomendados por la Autoridad Europea para la Seguridad de los Alimentos (EFSA) en peces. Por lo que la ingesta de las especies objeto de estudio deben ser adecuada y no excesivas.

En nuestro estudio los niveles de concentración de Cd y Pb de las muestras presentan valores aceptables, siendo estos menores que los contenidos máximos permitidos por la legislación europea vigente. Por lo que no presentan ningún riesgo ingerir las especies objeto de estudio.

Encontramos correlaciones entre la talla de los individuos de *Scomber colias* y su concentración de metales. Correlación negativa en Cu y V, y correlación positiva en Ca, Cu, Ni, Mn y Sr.

CONCLUSIONS

Samples of *Thunnus thynnus* have a higher concentration of metals than individuals of the *Scomber colias* species. This is because the *Thunnus thynnus* species has a larger size, and is in a higher position in the food chain.

The concentration levels of Al in *Thunnus thynnus* samples were higher than recommended by the European Food Safety Authority (EFSA) in fish. Therefore, the intake of the species under study must be adequate and not excessive.

In our study, the concentration levels of Cd and Pb of the samples presented acceptable values, which are lower than the maximum levels allowed by current European legislation. Therefore, there is no risk of ingesting the species under study.

We found correlations between the size of the individuals of *Scomber colias* and their concentration of metals. Negative correlation in Cu and V, and positive correlation in Ca, Cu, Ni, Mn and Sr.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., Martínez, G. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*. vol. 27, no 12, p. 686-690.
- Anadón, R., Duarte, C. M., Fariña, C. 2005. Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. p. 147-182.
- Baron, J. M. S. 2017. Patrones de alimentación y reconstrucción de la dieta de juveniles y adultos de atún rojo (*Thunnus Thynnus*, L. 1758) en el Mediterráneo Occidental: análisis de contenidos estomacales e isótopos estables. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Bauchot, M. L. 1986. Sparidae. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean, 2, 883-907.
- Berg, L. S. 1947. Classification Of Both Recent And Fossil. AJ Reprints Agency, New Delhi.
- Besada, V., González, J. J., Schultze, F. 2006. Mercury, cadmium, lead, arsenic, copper and zinc concentrations in albacore, yellowfin tuna and bigeye tuna from the Atlantic Ocean. *Ciencias Marinas*, vol. 32, no 2B, p. 439-445.
- Bilandžić, N., Đokić, M., Sedak, M. 2011. Metal content determination in four fish species from the Adriatic Sea. *Food Chemistry*, vol. 124, no 3, p. 1005-1010.
- BOE. 1991. Orden de 2 de agosto de 1991 por la que se aprueban las normas microbiológicas, los límites de contenido en metales pesados y los métodos analíticos para la determinación de metales pesados para los productos de la pesca y de la acuicultura. BOE (jueves, 15 de agosto de 1991), 195, 27153 27155.
- Bonecker, A. C. T., Namiki, C. A. P., de Castro, M. S., Campos, P. N. 2014. Catálogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos. SciELO-Sociedade Brasileira de Zoologia.
- Catanese, G., Manchado, M., Infante, C. 2010. Evolutionary relatedness of mackerels of the genus *Scomber* based on complete mitochondrial genomes: strong support to the recognition of Atlantic *Scomber colias* and Pacific *Scomber japonicus* as distinct species. *Gene*, 452(1), 35-43.
- Collette, B. B., Nauen, C. E. 1983. *Scombrids of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Tunas, Mackerels, Bonitos, and Related Species Known to Date*. v. 2.
- Collette, B. B. 2002. Mackerels and tunas. The living marine resources of the Western Central Atlantic, 3, 1836-1857.
- Cort, J. L. 2007. El enigma del atún rojo reproductor del Atlántico Nororiental. Bedia Artes Gráficas, SC, Santander.
- Crespo, F. J. A. 2004. Biología reproductiva del atún rojo, *Thunnus thynnus* (L.), en el Atlántico oriental y Mediterráneo (Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz).
- Díaz, O., Encina, F., Recabarren, E., Del Valle, C., Pastene, R., Montes, S., Figueroa, A. 2008. Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (*Mesodesma donacium*): Implicancias alimentarias y toxicológicas. *Revista chilena de nutrición*, 35(1), 53-60.
- FAO, 2010a. The State of World Fisheries and Aquaculture, <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e.pdf>
- FAO, 2010b. The international fish trade and world fisheries, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/fact_sheet_fish_trade_en.pdf
- Fisher, N. S., Hook, S. E. 2002. Toxicology tests with aquatic animals need to consider the trophic transfer of metals. *Toxicology*, 181, 531-536.
- Groth III, E. 2010. Ranking the contributions of commercial fish and shellfish varieties to mercury exposure in the United States: implications for risk communication. *Environmental research*, 110(3), 226-236.
- Harte, J., Holdren, C., Schneider, R., Shirley, C. 1991. *Toxics A to Z: A guide to everyday pollution hazards*. Univ of California Press.
- Infantas, M. M. V. 2005. Intoxicación por plomo. *Rev Soc Per Med Inter*, 18, 22-27. KAREL, Marcus, et al. Principles of food science. Part II. Physical principles of food preservation. Marcel Dekker, Inc., 1975.
- Lozano-Bilbao, E., et al. 2018. Contenido de metales pesados y elementos traza en especies de camarones de la Isla de Tenerife.
- Lu, H., Guizzetti, M., Costa, L. G. 2001. Inorganic lead stimulates DNA synthesis in human astrocytoma cells: role of protein kinase C α . *Journal of neurochemistry*, 78(3), 590-599.
- Lutcavage, M. E., Brill, R. W., Skomal, G. B., Chase, B. C., Goldstein, J. L., Tutein, J. 2000. Tracking adult North Atlantic bluefin tuna

- (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using ultrasonic telemetry. *Marine Biology*, 137(2), 347-358.
- Miller, P. J. 1986. Gobiidae. Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean, 3, 1019-1085.
- Navarro, M. R., Villamor, B., Myklevoll, S., Gil, J., Abaunza, P., Canoura, J. 2012. Maximum size of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) and Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the Northeast Atlantic/Taille maximale du maquereau commun (*Scomber scombrus*) et du maquereau blanc (*Scomber colias*) du nord-est atlantique. *Cybiurn, International Journal of Ichthyology*, 36(2), 406-409.
- Nelson, J. S. 1994. Fishes of the world. John Wiley & Sons. Inc. New York. NORDBERG, Gunnar F. Historical perspectives on cadmium toxicology. *Toxicology and applied pharmacology*, 2009, vol. 238, no 3, p. 192-200.
- Rainbow, P. S. 1997. Trace metal accumulation in marine invertebrates: marine biology or marine chemistry?. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 77(1), 195-210.
- Reilly, C. 2008. Metal contamination of food: its significance for food quality and human health. John Wiley & Sons.
- Salazar-Lugo, R. 2009. Estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en organismos acuáticos de. *REDVET*, 10(11).
- Sitting, M. 1976. Metals, Pollution Technol, Rev, 30. Noyes Data Corp. New Jersey.
- Soldevilla, G. L. (2010). Metales pesados: aportaciones al estudio de la toxicología de especies y alimentos marinos en las Islas Canarias. Universidad de La Laguna.
- Storelli, M. M. 2008. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food and Chemical Toxicology*, 46(8), 2782-2788.
- Tapia, J., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., Carrasco, G., Torres, F., Pinto, et al. 2010. Study of the content of cadmium, chromium and lead in bivalve molluscs of the Pacific Ocean (Maule Region, Chile). *Food chemistry*, 121(3), 666-671.
- Uriarte, A., Alvarez, P., Iversen, S. A., Molloy, J., Villamor, B., Martins, M. M., & Myklevoll, S. 2001. Spatial pattern of migration and recruitment of North East Atlantic Mackerel. *ICES*.
- Varsavsky, A. I. (2002). ¿Es tóxico el aluminio?. Fundación Nexus.
- Vega, P. V., Florentino, B. L. 1991. Toxicología de alimentos. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud.
- Villamor, B., Abaunza, P., Fariña, A. C. 2004. Growth variability of mackerel (*Scomber scombrus*) off north and northwest Spain and a comparative review of the growth patterns in the northeast Atlantic. *Fisheries Research*, 69(1), 107-121.
- Waldichuk, M. 1977. La contaminación mundial del mar: una recapitulación (No. 551.46 COM-doc. 18).
- Wang, W. X. 2002. Interactions of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 295-309.
- Whyte, A. L., Hook, G. R., Greening, G. E., Gibbs-Smith, E., & Gardner, J. P. (2009). Human dietary exposure to heavy metals via the consumption of greenshell mussels (*Perna canaliculus* Gmelin 1791) from the Bay of Islands, northern New Zealand. *Science of the Total Environment*, 407(14), 4348-4355.
- Zarazúa Ortega, G., Ávila Pérez, P. 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica* Gmelin), del Canal El Chijol, Veracruz, México.
- Zardoya, R., Castilho, R., Grande, C., Favre-Krey, L., Caetano, S., Marcato, S., et al. 2004. Differential population structuring of two closely related fish species, the mackerel (*Scomber scombrus*) and the chub mackerel (*Scomber japonicus*), in the Mediterranean Sea. *Molecular Ecology*, 13(7), 1785-1798.

