

**Estudio del contenido de metales pesados tóxicos,
macroconstituyentes, microconstituyentes y
elementos traza en la sardina (*Sardina pilchardus*)
y el chicharro (*Trachurus picturatus*)**

**Study of content of toxic heavy metal,
macroconstituents, microconstituents and trace
elements in sardine (*Sardina pilchardus*) and blue
jack mackerel (*Trachurus picturatus*)**

Trabajo de Fin de Grado

Yanira Díaz Martín

Grado en Biología. Junio 2017

Tutorizado por Gonzalo Lozano Soldevilla y Enrique Lozano Bilbao



1. Introducción	1
1.1. Metales pesados.....	2
1.2. Especies de estudio.....	7
1.3. Objetivo.....	8
2. Material y Métodos	9
2.1. Preparación de las muestras analíticas	9
3. Resultados	10
3.1. Biometría.....	10
3.2. Análisis estadístico	11
3.3 Estimación de la ingesta dietética.....	17
4. Discusión	18
5. Conclusiones.....	21
Conclusions	21
6. Agradecimientos.....	22
7. Bibliografía	22



Este trabajo presenta el estudio de la concentración de 20 metales (macroconstituyentes, microconstituyentes, traza y tóxicos) en 39 muestras de músculo de dos especies de gran consumo humano, como son la sardina (*Sardina pilchardus*) y el chicharro (*Trachurus picturatus*), mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Ambas especies poseen concentraciones similares, con diferencias significativas en el Ba, Ca, Ni, Pb y Sr. La mayoría de las correlaciones entre la concentración de metales y el peso de los individuos fueron negativas. Se compararon las concentraciones obtenidas de los metales tóxicos con las de otros estudios y teniendo en cuenta la IDR (Ingesta Diaria Recomendada) e IDA (Ingesta Diaria Admisible), se determinó que todas las concentraciones de metales pesados tóxicos se encontraban por debajo de los límites máximos legislados para su consumo (*Sardina pilchardus*: 3.983 mg/kg Al, 0.016 mg/kg Cd, 0.047 mg/kg Pb; y *Trachurus picturatus*: 5.484 mg/kg Al, 0.011 mg/kg Cd, 0.040 mg/kg Pb) y que, el resto de los metales suponían una buena aportación dietética, pudiendo concluir que estas especies son aptas para el consumo y no representan ningún riesgo para la salud humana.

Palabras clave: metales pesados, *Sardina pilchardus*, *Trachurus picturatus*, contaminación marina.

Abstract

In this study, the concentration of 20 heavy metals were analyzed (macroconstituents, microconstituents, trace and toxics) in 39 muscle samples of two high human consumption species, sardine (*Sardine pilchardus*) and blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*), by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-OES). Both species have similar concentrations, with significant differences in Ba, Ca, Ni, Pb and Sr. Most of relationships between metal concentrations and fish weight were negative. Concentrations of toxic metals obtained were compared with other studies and given the RDI (Recommended Daily Intake) and ADI (Acceptable Daily Intake), it was determined that all toxic heavy metals concentrations were below the maximum limits permitted for human consumption (*Sardina pilchardus*: 3.983 mg/kg Al, 0.016 mg/kg Cd, 0.047 mg/kg Pb; and *Trachurus picturatus*: 5.484 mg/kg Al, 0.011 mg/kg Cd, 0.040 mg/kg Pb), and remaining metals represented a good dietary contribution, concluding that these species are suitable for human consumption and do not represent any risk for human health.

Key words: heavy metals, *Sardina pilchardus*, *Trachurus picturatus*, marine pollution.

1. Introducción



Los metales pesados se consideran un riesgo en los ecosistemas marinos debido a su carácter acumulativo y a su toxicidad. Al contrario que muchos contaminantes orgánicos, los metales pesados generalmente no se eliminan en los ecosistemas acuáticos por procesos naturales, debido a que no son biodegradables (Hernández, 2014).

El empleo de organismos capaces de acumular contaminantes traza a unos niveles que permiten su puesta en evidencia mucho antes que, si se realizara el control directamente en muestras abióticas, es esencial en ecotoxicología para controlar correctamente la calidad ambiental y la presencia de compuestos en el medio ambiente. Los peces fueron los primeros en ser utilizados en ecosistemas acuáticos, siendo aún una elección prioritaria, principalmente cuando se trata de sistemas en desequilibrio y contaminados por metales pesados (Argota *et al.*, 2012). Los animales y plantas han desarrollado diversos sistemas de adaptación para tolerar diversas concentraciones de metales en la naturaleza. Sin embargo, el contacto limitado con los metales traza hizo innecesarios tales ajustes hasta que las actividades humanas aumentaron la concentración en el ambiente, siendo por ello estos metales de mayor importancia que los abundantes debido a los efectos que producen en los seres vivos (Gracia, 2010).

En los últimos años, los ecosistemas marinos han sido contaminados por metales pesados que proceden de la industria de transformación, la agricultura, los residuos domésticos y la minería, existiendo también de manera natural. Estos metales son potencialmente tóxicos, siendo peligrosos para el ambiente natural y para la salud humana si exceden los límites naturales (Lozano *et al.*, 2016). La concentración natural de estos metales en el agua de mar es muy baja y, por lo tanto, el riesgo de contaminación en el tejido vivo es alto, debido a la capacidad de los organismos para acumularlos. Tienen la tendencia a acumularse en diversos órganos y tejidos musculares, especialmente en peces, que a su vez pueden entrar en el metabolismo humano a través del consumo, causando series peligros para la salud pública, (Ozuni *et al.*, 2012) ya que pueden dar lugar a anomalías morfológicas, alteraciones neurofisiológicas, mutaciones y carcinogénesis. Además, los metales pesados pueden afectar a las actividades enzimáticas y hormonales, así como a la tasa de crecimiento y aumentar la mortalidad (Idris *et al.*, 2007). Los peces absorben los metales pesados del medio ambiente circundante dependiendo de una variedad de factores, tales como las características de la especie considerada, el período de exposición, la concentración del elemento, así como factores abióticos tales como la temperatura, salinidad, pH y cambios estacionales (Copat *et al.*, 2012).

De esta manera, se incorporan a las redes alimentarias acuáticas a través de productores primarios y detritívoros, y luego se biomagnifican a niveles tróficos superiores (Hosono *et al.*, 2011).

1.1. Metales pesados

Se considera metal pesado, aquel elemento que tenga densidad igual o superior a 5g/cm^3 o cuyo número atómico sea superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos) (Gracia, 2010). Algunos metales pesados pueden actuar como potentes tóxicos, mientras que, por otra parte, otros juegan un papel fundamental en las funciones fisiológicas de los seres vivos, de forma que se pueden calificar como esenciales, no esenciales y tóxicos (Rubio, 2002). Sin embargo, todos los metales, ya sean biológicamente esenciales o no, son potencialmente tóxicos para los organismos a un umbral de concentración determinado (Hernández, 2014).

Dentro del concepto de metales o minerales pueden diferenciarse:

- Macroconstituyentes: aquellos necesarios para el desarrollo de la vida, que se requieren en grandes cantidades (gramos diarios). El Ca, Mg, K y Na. (Caballero, 2014)
- Microconstituyentes: aquellos que son requeridos en pequeñas cantidades (entre miligramos o microgramos) por parte de los organismos para completar su ciclo vital. Principalmente Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn. (Caballero, 2014)
- Elementos traza: aquellos requeridos en cantidades mínimas. Algunos pueden ser clasificados como elementos esenciales, ya que suelen ser componentes de sistemas enzimáticos. Son B, Ba, Co, Li, Mo, Sr y V (de Alba, 2013).

Otros son elementos traza sin función biológica conocida, altamente tóxicos y que tienden a acumularse en los organismos. Básicamente Al, Cd, Hg, Pb, Sb y Bi. (Gracia, 2010).

Los metales como el cobre, zinc y el hierro son esenciales para el metabolismo de los peces, mientras que otros tales como el mercurio, cadmio y plomo no tienen papeles conocidos en los sistemas biológicos. Para el metabolismo normal de los peces, los metales esenciales deben ser absorbidos del agua, el alimento o sedimentos. Sin embargo, de manera similar a la ruta de los metales esenciales, los no esenciales también son absorbidos por los peces y acumulados en sus tejidos (Canli & Atli, 2003).

Con el fin de evaluar los problemas para la salud que pueden derivarse de la presencia de contaminantes en los alimentos (Cuadrado, 1995), es necesario determinar una serie de índices capaces de medir el grado de peligrosidad de la ingesta: IDA (Ingesta Diaria Admisible), IDR (Ingesta Diaria Recomendada), PWTI (Provisional Tolerable Weekly Intake o Ingesta Semanal Provisional Tolerable) y TWI (Tolerable Weekly Intake o Ingesta Semanal Tolerable). Por IDA se entiende la dosis diaria tolerable de una determinada sustancia, es decir, la cantidad que una persona puede tomar cada día durante toda la vida, sin que ello le comporte problemas de salud y se suele expresar en mg del producto por kilogramo de peso de la persona. La IDR se define como los niveles de ingesta de principios inmediatos, fibra, vitaminas y minerales que cubren las necesidades conocidas de prácticamente todos los individuos sanos. Las PWTIs corresponden a los niveles máximos de metales pesados de carácter tóxico que pueden ser ingeridos en los alimentos, por semana y que no originan problemas de salud durante toda la vida del individuo. Este parámetro se utiliza en tóxicos con carácter acumulativo (Lozano, 2010)

- Aluminio. Se trata del metal más abundante en la corteza terrestre. Siempre se encuentra combinado con otros elementos. Se encuentra en las personas, plantas y animales, pero aún no se le ha atribuido ningún papel biológico. La exposición al aluminio generalmente no es perjudicial, pero la exposición a cantidades altas puede afectar la salud (ATSDR, 2008). En 2011, el Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios de la EFSA (JECFA), estableció una ingesta tolerable (PTWI) de 10 mg/kg de peso/semana. (Gutiérrez, 2005).

- Bario. Se trata de un metal que existe en el ambiente formando compuestos con otros elementos. Los compuestos de bario solubles en agua no permanecen mucho tiempo en sus formas. El bario pasa así a combinarse con sulfato o carbonato para permanecer mucho más tiempo en el medio, pudiendo llegar a acumularse en peces y otros organismos acuáticos. La ingestión de cantidades de bario altas puede producir vómitos, calambres estomacales, dificultad para respirar y debilidad muscular (ATSDR, 2007). La IDA es de 14 mg/día.

- Boro. Se trata de un compuesto presente en la naturaleza, a menudo combinado con otras sustancias formando compuestos llamados boratos. Se encuentra en el organismo, pero no tiene una función metabólica conocida. En las plantas es un nutriente esencial. La exposición a grandes cantidades de boro puede afectar al estómago, los intestinos, el hígado, los riñones y el cerebro, y al final puede causar la muerte (ATSDR, 2010). La dosis mínima letal después de la ingestión accidental de ácido bórico en humanos oscila entre 98 y 650 mg/kg de peso corporal.

- Cadmio. Se trata de un problema medioambiental con repercusiones sobre la salud,

debido a su persistencia en el medio ambiente y su larga vida media biológica (10-40 años) en el cuerpo humano, especialmente en los riñones (Hernández, 2014). Es un metal ampliamente representado en los ambientes terrestres y acuáticos en concentraciones relativamente muy bajas y se trata de un elemento sin función biológica conocida. Sus efectos nocivos se producen bajo dos formas de intoxicación, las agudas, con irritación del tracto digestivo, cefaleas, escalofríos, parálisis y depresión cardiovascular, una vez ha pasado al torrente sanguíneo; y las crónicas, que producen lesiones óseas características (Lozano, 2010). La IDA es de 0,05 mg/kg/día, (Gutiérrez, 2005).

- Calcio. Es un nutriente esencial para el hombre siendo el mineral que se encuentra en mayor cantidad en el organismo. Es, por tanto, imprescindible en el mantenimiento del tejido óseo y fundamental para el crecimiento. También se ha descrito que altas ingestas de calcio pueden inducir estreñimiento e inhibición de la absorción intestinal de hierro, zinc y otros minerales esenciales, hipercalcemia y deterioro de la función renal (Cuadrado, 1995). Se trata de un elemento abundante en la corteza terrestre y es el ion más abundante disuelto en el agua de mar. Según las recomendaciones de la “Food and Nutrition Board, National Academy of Sciences”, la ingesta de calcio diaria recomendada (IDR) es de 1200 mg de calcio por día para adultos y mujeres embarazadas (Gutiérrez, 2005).

- Cobalto. Se trata de un elemento que se puede encontrar de forma natural en pequeñas cantidades en la mayoría de las rocas, en el suelo, el agua, en plantas y en los animales (Hernández, 2014). En humanos forma parte de la vitamina B₁₂, tratándose de un micronutriente esencial. Sin embargo, la exposición a niveles altos de cobalto puede producir efectos en los pulmones y el corazón (ATSDR, 2004). Para la exposición oral de duración intermedia, se ha derivado un MRL (Minimal Risk Level o nivel mínimo de riesgo) de 1×10^{-2} mg/kg de peso corporal/día. No se han derivado otros MRL para la exposición inhalatoria u oral (Gutiérrez, 2005).

- Cobre. Se trata de un oligoelemento ampliamente distribuido en la naturaleza, tendiendo a formar enlaces con los componentes sólidos de los suelos y de los sedimentos (Hernández, 2014). Es de suma importancia al formar parte de numerosos sistemas enzimáticos, especialmente en los invertebrados al constituir el núcleo de la hemocianina (Lozano, 2010). La intoxicación aguda provoca vómitos, hipotensión, ictericia y coma (Cuadrado, 1995). La IDA es de 1,1 mg/ día (Gutiérrez, 2005).

- Cromo. Se trata de un metal que actúa de distinta manera según su especiación; por un lado, el cromo trivalente es un oligoelemento indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para la vida. Por otro lado, el cromo hexavalente está clasificado como

agente cancerígeno. Se caracteriza por ser un contaminante medioambiental y un elemento conocido por sus propiedades tóxicas en el ser humano (Hernández, 2014). Según la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria), la IDA es de 0,3 mg / kg de peso corporal por día para el Cr (III).

- Estroncio. Se trata de un metal cuya esencialidad no ha sido todavía establecida, existiendo evidencias de su participación en reacciones celulares (Cuadrado, 1995). En su estado elemental se encuentra de forma natural en muchos compartimentos del medio ambiente, incluyendo el suelo, agua y aire. No se han descrito efectos perjudiciales por exposición al estroncio en los niveles que se encuentran típicamente en el ambiente. La EPA (Environmental Protection Agency) de los EE. UU. ha establecido un MRL para el estroncio de 17 mg/kg de peso/día para la exposición oral de duración intermedia. (Gutiérrez, 2005).

- Hierro. Se trata de un microconstituyente esencial de los seres vivos. Juega un importante papel en la formación de la hemoglobina y como constituyente de la mioglobina, produciendo su carencia anemia ferropénica. Es un metal potencialmente tóxico en todas sus formas y su exceso produce diferentes patologías gastrointestinales, cardiovasculares y neurológicas (Lozano, 2010). Las Ingestas Diarias Recomendadas (IDR) son de 9 y 18 mg/día para hombres y mujeres respectivamente (Gutiérrez, 2005).

- Litio. Se trata de un metal que se encuentra en el organismo, pero no presenta una función metabólica conocida. Está presente en la corteza terrestre, pero no se encuentra libre en el medio ambiente debido a su gran reactividad. La EPA ha derivado una dosis de referencia provisional para la exposición subcrónica y crónica de litio de 2 µg/kg de peso/día. (Gutiérrez, 2005).

- Magnesio. Se trata de un elemento muy abundante en la corteza terrestre y disuelto en el agua de mar. En el medio ambiente se encuentra formando parte de numerosos compuestos, en su mayoría óxidos y sales. Es un nutriente esencial, cofactor de muchas enzimas. Las intoxicaciones alimentarias son bastante raras (Cuadrado, 1995). La IDA es de 375 mg/día.

- Manganeso. El manganeso se trata de un elemento esencial, cofactor en un gran número de reacciones enzimáticas. Está presente en todos los organismos vivos, dependiendo su concentración de la ingesta de alimentos que lo contienen (Cuadrado, 1995). También forma parte de la corteza terrestre y se encuentra de forma natural en el medio ambiente en forma de óxidos. En los sistemas acuáticos, se presenta junto al hierro en cantidades notables y se trata de un micronutriente esencial requerido para la fotosíntesis del plancton (Hernández, 2014). Una exposición aguda provoca neumonía, produciendo alteraciones del sistema nervioso y una sintomatología neurotóxica posterior muy parecida al parkinsonismo (Lozano, 2010). Se trata

del elemento menos tóxicos de los considerados en esta memoria. La IDA es de 2,3 mg/día, (Gutiérrez, 2005).

- Molibdeno. Micronutriente esencial en nutrición humana y en animales. Se trata de un metal esencial como cofactor para las enzimas xantino-oxidasa y aldehído-oxidasa. Actúa como antagonista del cobre, pudiendo causar efectos tóxicos si el nivel de cobre es bajo, siendo potenciado por la presencia de azufre (Cuadrado, 1995). La IDA es de 50 µg/día.

- Níquel. El níquel se encuentra de forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se trata de un elemento esencial para los animales, pero en menor importancia para el hombre, estando avalada su participación en algunas enzimas, activación de hormonas y del metabolismo (Lozano, 2010). La exposición al níquel en sistemas acuáticos presenta efectos tóxicos sobre los organismos, presentando una baja tendencia a la bioconcentración (Hernández, 2014). El efecto adverso más común de la exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica, pudiendo derivar en un ataque de asma en personas sensibles a dicho metal. La adquisición de Ni por vía oral se cifra en un 10% del total posible, siendo la respiratoria y dérmica las más importantes. La IDA es de 1540 µg/día (Gutiérrez, 2005).

- Potasio. Se trata de un macronutriente esencial en la nutrición humana, abundante en la corteza terrestre. Está involucrado en el mantenimiento del equilibrio osmótico, la contracción muscular y la regulación de la actividad neuromuscular. En el medio ambiente abunda en elementos relacionados con el agua salada y otros minerales. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que los adultos consuman, como mínimo, 3510 mg/día (OMS, 2013)

- Plomo. El plomo es uno de los metales más usados, ubicuos conocidos por los humanos, es detectable en prácticamente todas las fases del medio ambiente y los sistemas biológicos (Nava-Ruiz *et al*, 2011). Es un metal pesado no esencial con concentraciones relativamente elevadas en los organismos marinos, fundamentalmente en moluscos bivalvos y en peces, ya que tiene la capacidad de bioacumularse en la red trófica (Lozano, 2010). Una exposición prolongada afecta principalmente al sistema hematopoyético, induciendo anemia, y al sistema nervioso. La IDA es de 0,3 mg/kg/día (Gutiérrez, 2005).

- Sodio. Se trata de un macronutriente esencial en nutrición humana. Es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre y el segundo elemento, después del cloro, más abundante en solución en el agua de mar. Es necesario para mantener el balance de los sistemas de fluidos físicos y para el funcionamiento de nervios y músculos. Un exceso de sodio puede dañar los riñones e incrementa las posibilidades de hipertensión. El Comité Científico de la Alimentación, estableció un rango aceptable de ingesta para adultos de 25 a 150 mmol/día

(Gutiérrez, 2005).

- Vanadio. Se trata de un metal cuya esencialidad no ha sido todavía establecida, existiendo evidencias de su participación en reacciones celulares (Cuadrado, 1995). Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. Una alta exposición puede causar náuseas, dolor abdominal y un tono verdoso en la lengua, llegando a causar anemia si dicha exposición es repetida. La ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) ha derivado un MRL para la exposición oral de duración intermedia al vanadio de 0,01 mg/kg de peso corporal/día (Gutiérrez, 2005).

- Zinc. Elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, pero en mínima representación (0,0125% de la corteza terrestre). Sin embargo, en el ser humano juega un papel importante formando parte de numerosos sistemas enzimáticos. En el medio acuático su biodisponibilidad se ve afectada por los cambios en el pH. (Hernández, 2014). Las intoxicaciones por una excesiva ingestión dietética de zinc no son comunes, si llegara a ocurrir, los síntomas serían náuseas, vómitos y fiebre. La IDA es de 9,5 y 7 mg/día para hombres y mujeres respectivamente (Gutiérrez, 2005).

1.2. Especies de estudio

Sardina pilchardus (Walbaum, 1792)

Conocido comúnmente como sardina europea o sardina común, pertenece al orden de los Clupeiformes y a la familia de los clupeidos (*Clupeidae*). Se caracteriza por su cuerpo alargado, escamas caedizas y la presencia de una serie de manchas oscuras en los flancos superiores (Marrero & Báez, 2014). Presenta una coloración azul-verdosa en el dorso y plateada por los lados y la zona ventral. Pueden alcanzar una longitud máxima de 27,5 cm, con una talla común de 20 cm. Se trata de una especie gregaria y migratoria, que forma cardúmenes numerosos y realiza migraciones de acercamiento y alejamiento de la costa, buscando siempre las aguas más cálidas y con mayor grado de salinidad. Lo podemos encontrar frecuentemente entre 25-55 m de profundidad, llegando incluso a 100 por el día y subiendo a 10-35 m por la noche. Se alimenta de plancton durante toda su vida. Se trata de una especie de amplia distribución, abundante en las costas orientales del Atlántico norte, desde Islandia hasta Senegal, incluyendo Madeira, Canarias y Azores. Es frecuente en la parte occidental del Mediterráneo. La talla mínima de captura es de 11 cm (Velasco *et al.*, 2013).



Figura 1. Ejemplar de *Sardina pilchardus*.

***Trachurus picturatus* (Bowdich, 1825).**

Conocido comúnmente como chicharro o jurel, pertenece al gran orden de los Perciformes y a la familia de los carángidos (*Carangidae*). Se caracteriza por su cuerpo alargado con grandes ojos, una línea lateral muy marcada que se curva hacia el final del cuerpo y una mancha negra en la tapa de las agallas (Marrero & Báez, 2014). Presenta una coloración azulada-plateada, siendo la parte superior del cuerpo oscura, azulada; y el resto del cuerpo plateado, con una aleta caudal rojiza. Pueden alcanzar una longitud máxima de 60 cm (longitud furcal), siendo el rango más común de 15 a 30 cm. Vive en alta mar, pero realiza migraciones estacionales, aproximándose y alejándose de la costa. Lo podemos encontrar desde 0 a 370 m de profundidad, frecuentemente entre 100-200 m. También realiza migraciones diarias ascendiendo desde el fondo o aguas medias a la superficie durante la noche para alimentarse. Forma grandes cardúmenes sobre fondos arenosos. Carnívoro, en su fase juvenil se alimenta de zooplancton; mientras que los adultos, además de plancton, depredan crustáceos, calamares y pequeños peces (Ortiz *et al.*, 2014). Su área de distribución se extiende por el Atlántico Este: sur del Golfo de Vizcaya al sur de Marruecos, incluyendo Azores, Madeira y las Islas Canarias. También en la parte occidental del Mediterráneo. Según el Reglamento (UE) n°57/2011, la talla mínima de captura es de 15 cm, con excepción del 5% de la cuota asignada a España que podrá tener un tamaño entre 12 y 14,99.



Figura 2. Ejemplar de *Trachurus picturatus*.

1.3. Objetivo

El objetivo de este estudio es determinar si las especies estudiadas son aptas para el consumo humano y no representan ningún riesgo para la salud. Por otro lado, analizar 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.

2. Material y Métodos

Se tomaron muestras de dos especies de pequeños peces pelágicos de gran interés pesquero, comercial y alimenticio, estando entre los pescados azules más consumidos en España. En este estudio, se utilizaron un total de 39 ejemplares: 19 ejemplares de *Sardina pilchardus* y 20 ejemplares de *Trachurus picturatus*. Se eligieron 10 ejemplares machos y 10 hembras por especie, excepto en sardina en que fueron únicamente 9 hembras.

2.1. Preparación de las muestras analíticas

La muestra analítica consistió en una muestra de músculo del lomo de cada uno de los individuos, en torno a 5-10 g para que el espectrómetro fuese capaz de leer la concentración. Las muestras se depositaron en un pocillo de porcelana previamente pesado y posteriormente se llevaron a la estufa donde permanecieron 24 horas a una temperatura de 70°C. Pasado este período, se pesaron para obtener el peso constante, obteniendo de este modo el porcentaje de agua que contienen los ejemplares. Obtenido el peso seco, los pocillos con las muestras se depositaron en un horno-mufla al menos 48 horas a 450° C, hasta la obtención de cenizas blancas. Si pasado este tiempo las muestras aparecían oscuras o pardas, significaba que aún contenían materia orgánica que se tenía que eliminar purificando, es decir, añadiendo unas gotitas de ácido nítrico al 65% sobre éstas en la campana de gases, evaporándolas posteriormente con una placa calefactora a 70-90° C. Una vez tratadas se volvían a reincinerar en horno-mufla a 450° C hasta la obtención de las cenizas blancas. Obtenidas las cenizas blancas, se pesaban para obtener el peso de ceniza y se realizaba la preparación final, filtrando dichas cenizas con una disolución de ácido nítrico al 1,5 % hasta una disolución final de 25 mL que se pasaba a botes de muestra para su posterior lectura mediante ICP-OES (espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente) (Lozano *et al.*, 2016).

Posteriormente, se procesaron los datos obtenidos y se realizó un análisis estadístico mediante el programa IBM SPSS Statistics.

3. Resultados



3.1. Biometría

De cada uno de los 39 ejemplares se tomaron datos biométricos: longitud total, longitud estándar, longitud furcal, longitud cefálica y peso total.

Tabla 1. Datos biométricos de *Sardina pilchardus*. (Lt: longitud total; Ls: longitud estándar; Lf: longitud furcal; Lc: longitud cefálica).

Ejemplar	Sexo	Lt (cm)	Ls (cm)	Lf (cm)	Lc (cm)	Peso (g)
1	Macho	16,0	13,9	14,3	3,2	30,0
2	Macho	15,0	12,9	13,5	3,3	24,5
3	Macho	15,0	12,7	13,5	3,2	23,0
4	Macho	15,5	13,1	25,9	3,0	25,1
5	Macho	14,8	12,7	13,5	3,2	24,0
6	Macho	14,9	12,6	13,3	2,0	23,1
7	Macho	14,3	12,7	13,6	3,2	22,6
8	Macho	14,9	13,0	13,9	2,7	24,4
9	Macho	16,3	14,0	15,0	3,0	31,2
10	Macho	15,4	13,0	13,8	3,2	27,0
11	Hembra	14,3	11,8	12,2	2,5	21,8
12	Hembra	15,3	13,0	13,7	3,1	28,2
13	Hembra	15,5	13,2	13,9	3,0	28,6
14	Hembra	14,5	12,5	12,9	3,1	27,9
15	Hembra	14,7	12,9	13,4	3,1	28,5
16	Hembra	14,6	12,0	13,4	3,0	25,9
17	Hembra	15,8	13,5	14,2	3,2	27,5
18	Hembra	15,5	13,3	14,3	3,0	25,7
19	Hembra	19,0	16,0	17,5	3,5	49,2

Tabla 2. Datos biométricos de *Trachurus picturatus*. (Lt: longitud total; Ls: longitud estándar; Lf: longitud furcal; Lc: longitud cefálica).

Ejemplar	Sexo	Lt (cm)	Ls (cm)	Lf (cm)	Lc (cm)	Peso (g)
1	Macho	19,2	16,0	17,9	4,3	53,9
2	Macho	17,5	14,9	16,4	4,1	42,6
3	Macho	17,1	14,3	16,4	4,4	40,6
4	Macho	16,6	14,1	15,3	4,1	37,6
5	Macho	17,3	14,9	16,4	4,4	38,9
6	Macho	17,8	15,3	16,6	4,5	45,0
7	Macho	16,7	14,2	15,4	4,1	37,4
8	Macho	17,3	14,8	16,2	4,0	39,2
9	Macho	19,1	15,9	18,0	3,7	55,8
10	Macho	17,9	15,4	16,9	3,5	44,3
11	Hembra	20,3	17,4	18,9	4,7	61,7
12	Hembra	19,5	16,3	17,7	4,8	57,1
13	Hembra	19,0	16,1	17,2	4,9	53,2
14	Hembra	20,5	18,9	17,1	4,0	63,7
15	Hembra	18,0	15,1	16,5	4,0	43,4
16	Hembra	19,4	16,3	18,2	4,8	54,6
17	Hembra	17,5	14,8	16,7	3,5	39,3
18	Hembra	20,0	16,9	18,6	4,5	56,7
19	Hembra	19,2	16,5	17,7	4,5	64,0
20	Hembra	17,7	15,1	16,6	4,1	41,3

3.2. Análisis estadístico

En cada análisis se llevó a cabo el mismo procedimiento para comprobar si los datos seguían una distribución normal y saber de este modo, si utilizar un test paramétrico o no paramétrico. Para cumplir los datos dicha condición de normalidad, debía existir normalidad (Test Shapiro-Wilk y test de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Estadístico de Levene), con un p-valor de 0,05. En caso de existir normalidad, se aplicaba T-medias como prueba paramétrica y en caso de no existir normalidad, se procedía a realizar el test de Kruskal-Wallis para ver si existían diferencias significativas, y si existían, se realizaba el test de U de Mann-Whitney, para ver entre qué grupos existían dichas diferencias. Para comprobar la existencia de correlación entre variables se aplicaron los test de Pearson y Spearman según hubiera normalidad o no.

Peso húmedo, peso seco y peso de las cenizas

En primer lugar, se analizó la normalidad de estos parámetros que resultó no existir. Por ello, se realizó el test de Kruskal-Wallis para ver si existían diferencias significativas y como sí existían, se procedió a realizar la prueba U de Mann-Whitney para entre qué grupos existían dichas diferencias significativas. Existiendo dichas diferencias entre la longitud, el peso y el peso húmedo de ambas especies; y no existiendo entre el peso seco y el peso de las cenizas, siendo muy similares entre ambas especies. Cabe destacar que, tanto la longitud, el peso y el peso húmedo eran mayores en el caso de los chicharros, mostrándose la diferencia de peso en el gráfico de barras de error de las especies de peces *Sardina pilchardus* y *Trachurus picturatus*, con un intervalo de confianza del 95 %.

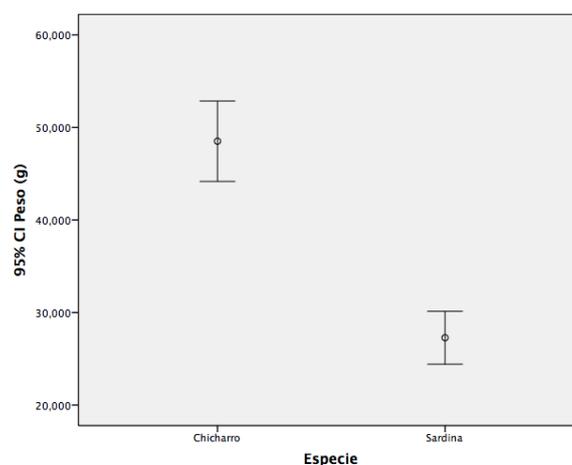


Figura 3. Gráfico de barras de error del peso de las especies.

Tabla 3. Prueba de U de Mann-Whitney para el peso húmedo, seco y de ceniza. Nivel de significancia ,05.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de Longitud (cm) es la misma entre las categorías de “Especie”.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,000	Se rechaza la hipótesis nula.
La distribución de Peso (g) es la misma entre las categorías de “Especie”.		,000	
La distribución de Peso húmedo muestra (g) es la misma entre las categorías de “Especie”.		,016	
La distribución de Peso seco (g) es la misma entre las categorías de “Especie”.		,531	Se conserva la hipótesis nula.
La distribución de Peso cenizas (g) es la misma entre las categorías de “Especie”.		,749	

Comparación entre las especies y los metales

En este análisis se analizó la normalidad de los metales de ambas especies, existiendo en el Cu, Fe, K, Mg y Zn; y no existiendo en el resto. Con los metales que presentaban normalidad se realizó el test de T-medias, no existiendo diferencias significativas entre ninguno de los metales. Mientras que, para el resto se utilizó la prueba U de Mann-Whitney, existiendo diferencias en el Ba, Ca, Na, Ni, Pb y Sr; y no existiendo en el resto. La sardina posee una mayor concentración de Ca, Na, Ni, Pb y Sr, siendo únicamente mayor la concentración de Ba en el chicharro (Figura 4), con un intervalo de confianza del 95%. En la Figura 5 podemos ver la mayor concentración de Pb en la sardina, como ejemplo de la mayor cantidad de ciertos metales en esta especie.

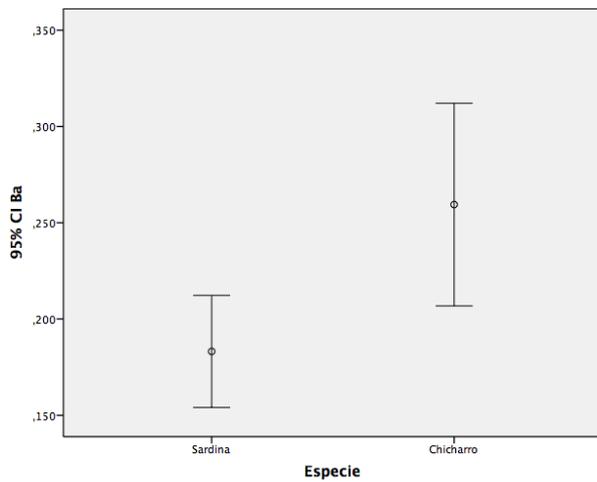


Figura 4. Gráfico de barras de error de la concentración de Ba en las especies.

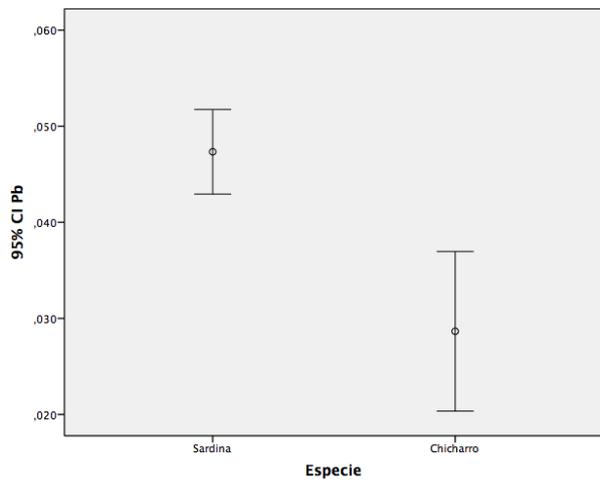


Figura 5. Gráfico de barras de error de la concentración de Pb en las especies.

Tabla 4. Medias de la concentración de metales en las especies estudiadas (mg/kg) con sus desviaciones estándar. La media del Co no aparece en *Sardina pilchardus*, debido a que la concentración en los individuos era demasiado baja para ser detectada por el método de análisis utilizado.

	<i>Sardina pilchardus</i>	<i>Trachurus picturatus</i>
Al	3,983 ± 2,527	5,484 ± 2,716
B	0,111 ± 0,045	0,099 ± 0,059
Ba	0,183 ± 0,060	0,259 ± 0,112
Ca	457,354 ± 79,404	118,852 ± 48,193
Cd	0,016 ± 0,012	0,011 ± 0,003
Co	-	0,002 ± 0,004
Cr	0,117 ± 0,153	0,074 ± 0,030
Cu	0,782 ± 0,180	0,659 ± 0,131
Fe	6,627 ± 1,283	4,988 ± 0,942
K	2937,878 ± 436,663	2814,047 ± 371,225
Li	0,663 ± 0,488	0,656 ± 0,612
Mg	342,708 ± 39,245	274,972 ± 39,789
Mn	0,141 ± 0,053	0,538 ± 1,055
Mo	0,002 ± 0,04	0,002 ± 0,006
Na	1054,325 ± 181,622	829,542 ± 1,020
Ni	0,070 ± 0,079	0,252 ± 0,025
Pb	0,047 ± 0,009	0,040 ± 0,053
Sr	0,689 ± 0,117	0,567 ± 0,201
V	0,254 ± 0,074	0,256 ± 0,131
Zn	5,988 ± 0,937	3,169 ± 0,643

Sardina pilchardus: metales según el sexo

En el caso de las sardinias, existía normalidad en los metales Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Pb, Sr, V y Zn, no existiendo diferencias significativas en ninguno de ellos en cuanto al sexo. En los metales en los que no existía normalidad, existía una diferencia significativa en el Al, Ba y Mn; siendo mayor la concentración de Al y Ba en los machos (Figura 6); y la concentración de Mn en las hembras (Figura 7).

En cuanto a la correlación entre los parámetros biométricos y la concentración de metales, tomando el peso como parámetro biométrico, existe únicamente en el caso del Zn y ésta es positiva, pero débil. Esto quiere decir, que la concentración de dicho metal aumenta al aumentar el peso de los individuos o por contrario, disminuye al disminuir el peso (Figura 8).

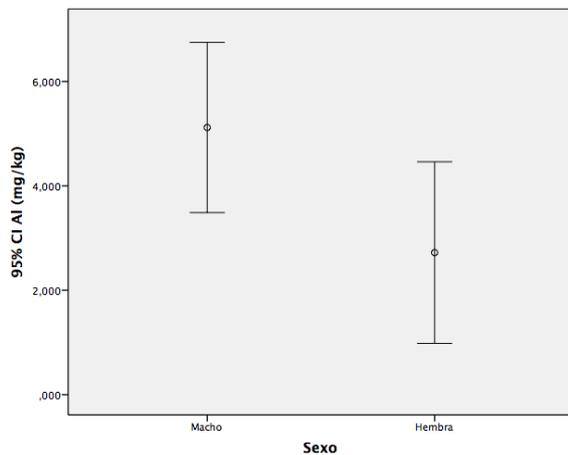


Figura 6. Gráfico de barras de error de la concentración de Al en función del sexo para *Sardina pilchardus*.

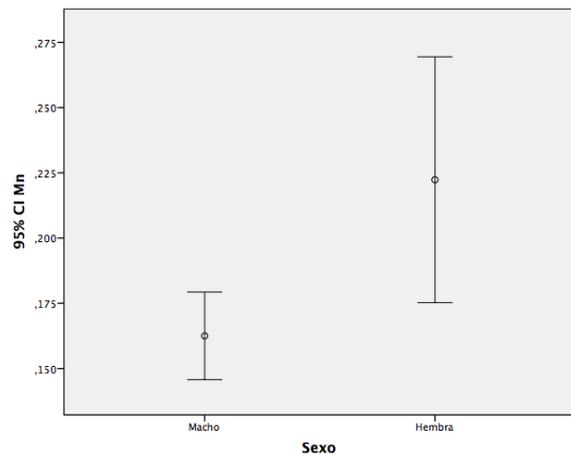


Figura 7. Gráfico de barras de error de la concentración Mn en función del sexo para *Sardina pilchardus*.

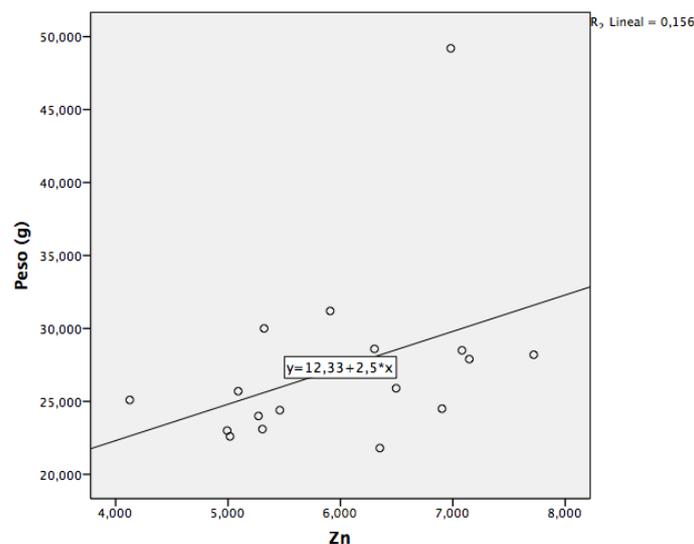


Figura 8. Correlación entre el peso y el Zn para *Sardina pilchardus*.

Trachurus picturatus: metales según el sexo

En el caso de los chicharros, existía normalidad en los metales Al, B, Ba, Cd, Fe, K, Na, Ni, Pb, V y Zn, no existiendo diferencias significativas en ninguno con respecto al sexo. En los metales en los que no existía normalidad, como podemos observar en la Tabla 5, existía una diferencia significativa en el Li únicamente, siendo la concentración mayor en las hembras (Figura 9).

Tabla 5. Prueba U de Mann-Whitney concentración de metales en función del sexo.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de Ca es la misma entre las categorías de "Sexo".	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,529	Se conserva la hipótesis nula.
La distribución de Co es la misma entre las categorías de "Sexo".		,971	
La distribución de Cr es la misma entre las categorías de "Sexo".		,190	
La distribución de Cu es la misma entre las categorías de "Sexo".		,436	
La distribución de Li es la misma entre las categorías de "Sexo".		,004	Se rechaza la hipótesis nula.

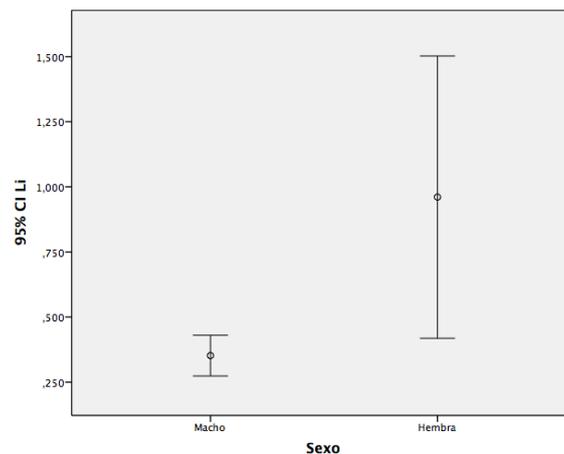


Figura 9. Gráfico de barras de error de la concentración de Li en función del sexo para *Trachurus picturatus*.

En cuanto a la correlación entre el peso y la concentración de metales, ésta existe únicamente en el caso del Cd y Zn, en los que dicha correlación es negativa (a mayor peso, menor concentración de metales y viceversa). Podemos observar dicha correlación negativa en el caso del Cd (Figura 10).

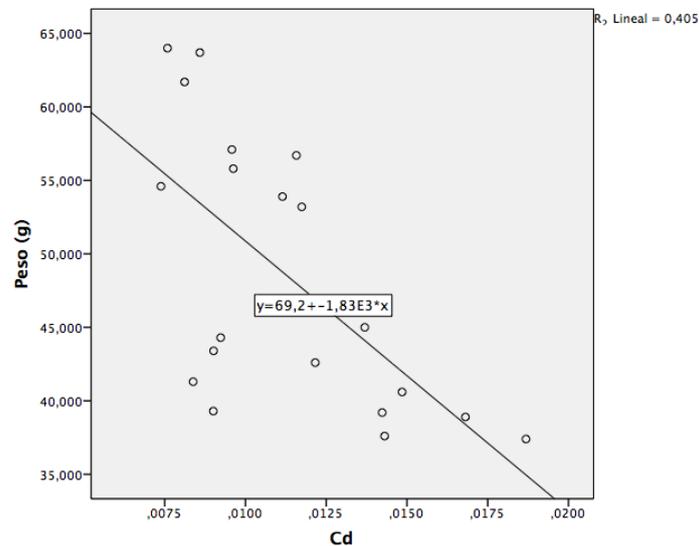


Figura 10. Correlación entre el peso y el Cd para *Trachurus picturatus*.

Correlaciones entre los metales de ambas especies y el peso

En cuanto a las correlaciones analizadas sin distinción de especie y utilizando como parámetro biométrico el peso, existe una correlación positiva únicamente en el Ni (Figura 11). Siendo negativa en el caso del Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Pb, Sr y Zn; y no existiendo en el resto de metales. Podemos observar dicha correlación negativa en el caso del Ca (Figura 12).

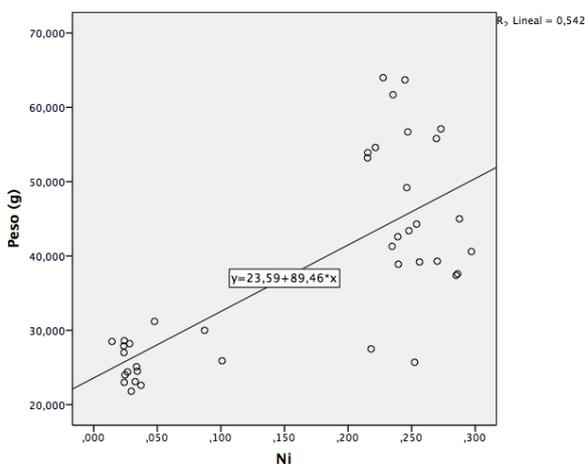


Figura 11. Correlación entre el peso y el Ni

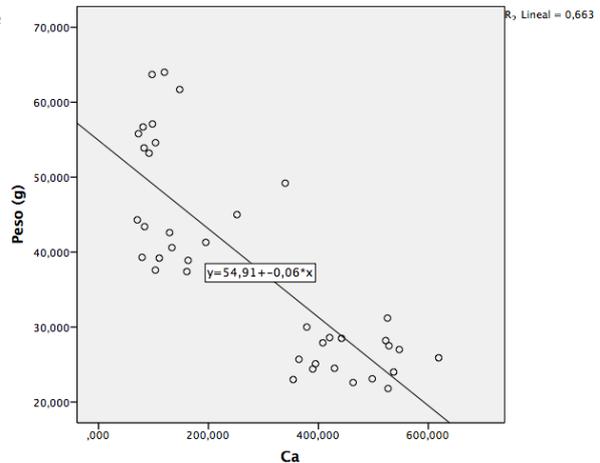


Figura 12. Correlación entre el peso y el Ca

En la siguiente tabla tenemos todas las correlaciones significativas, ya sean positivas o negativas, existentes entre el peso y los metales.

Tabla 6. Tabla de correlaciones entre el peso y los metales. ** La correlación es significativa al nivel 0,01.
* La correlación es significativa al nivel 0,05

	Ca	Cd	Cu	Fe	Mg	Ni	Pb	Sr	Zn
Coefficiente de correlación	-,785**	-,496**	-,324*	-,567**	-,748**	,618**	-,521**	-,549**	-,704**

3.3 Estimación de la ingesta dietética

Tabla 6. Valores de ingestas tomando como referencia una persona de 70 kg. En las columnas se hace referencia para cada una de las especies a la concentración media de cada metal estudiado y al peso en kilogramos que se debería consumir de sardinas y chicharos para alcanzar su IDR (Ingesta Diaria Recomendable) o IDA (Ingesta Diaria Admisible) * (Metales tóxicos).

Metales	IDR/IDA* (mg/día)	Sardina (mg/kg consumido)	Consumo necesario (kg/día)	Chicharro (mg/kg consumido)	Consumo necesario (kg/día)
Tóxicos					
Al*	10,2	3,983	2,561	5,484	1,860
Cd*	17,5	0,016	1093,75	0,011	1590,909
Pb*	25,0	0,047	531,915	0,040	625,0
Macroconstituyentes, microconstituyentes y elementos traza					
Ca	84000	342,708	245,107	118,852	706,761
Mg	24500	342,708	71,489	274,972	89,100
K	217000	2937,878	73,862	2814,047	77,113
Na	112000	1054,325	106,229	829,542	135,013
Cu	84	0,782	107,417	0,659	127,466
Fe (Hombres)	1260	6,627	190,131	4,988	252,606
Fe (Mujeres)	700	6,627	105,628	4,988	140,337
Mn	126	0,191	659,686	0,538	234,201
Zn	1050	5,988	175,351	3,169	331,335
B	11,9	0,111	107,207	0,099	120,202
Ba	14,0	0,183	76,503	0,259	54,054
Sr	17,5	0,689	25,399	0,567	30,864

4. Discusión



Existen diversos estudios sobre los metales en *Sardina pilchardus* y *Trachurus picturatus* (Canli & Atli, 2003; Copat *et al.*, 2012; Rivas *et al.*, 2014; Ozuni *et al.*, 2012; Plavan *et al.*, 2017), dos especies estudiadas en la mayoría de ellos junto a otras especies comunes y en diversas localizaciones, pero se centran en unos pocos metales, principalmente en los que son tóxicos o pueden llegar a tener consecuencias negativas en la salud humana. Sin embargo, en nuestro estudio se recogen 20 metales, estando 3 de ellos entre los tóxicos más importantes (Al, Cd y Pb) y los demás, formando parte de nuestro organismo, metales que, aunque son requeridos en diferentes cantidades (macroconstituyentes, microconstituyentes y elementos traza), juegan un papel esencial. Además, las especies que se consideran en este estudio son dos de las especies de pescado azul más consumidas en España, hecho de gran importancia, ya que el fin de éste es establecer si se tratan de especies aptas para el consumo que no representan ningún riesgo para la salud humana.

Los resultados de la primera parte del estudio nos muestran que existen diferencias significativas en ciertos metales (Ba, Ca, Ni, Pb y Sr) entre las especies, sugiriendo que estos metales tienen un patrón diferente de acumulación en el cuerpo de cada especie, que quizás depende de factores como el hábitat, la alimentación, la migración, el radio de crecimiento de la especie o la fuente y el grado de contaminación del agua en la zona en la que habitan (Mutlu *et al.*, 2012). Sin embargo, la gran mayoría de los 20 metales analizados siguen un patrón similar, no existiendo diferencias significativas, aunque se puede observar mayor concentración de ciertos metales en una especie con respecto a la otra (Tabla 4). Esto probablemente se deba a que ambas especies son pequeños peces pelágicos, con un comportamiento similar, que comparten el hábitat y realizan el mismo tipo de migraciones, debiéndose quizás las diferencias al diferente tipo de alimentación (alimentándose *Sardina pilchardus* únicamente de zooplancton y *Trachurus picturatus* de plancton, crustáceos, calamares y pequeños peces en su etapa adulta).

En general, existen diferencias en los niveles de algunos de los metales entre este estudio y otros similares que utilizan las mismas especies, lo que puede deberse a la diferente procedencia de las muestras o incluso a la diferente temporada de captura, además de otros factores. En el caso del Pb, la concentración en *Sardina pilchardus* se ha reportado desde 0,50 mg/kg (Océano Atlántico) (Blanco *et al.*, 2008), hasta 0,05 mg/kg (Mar Mediterráneo) (Yusà *et al.*, 2008), coincidiendo con la obtenida en nuestro estudio. En *Trachurus picturatus* se ha

reportado una concentración de 0,043 mg/kg (Rivas *et al.*, 2014), al igual que en nuestro estudio (0,04 mg/kg). En el caso del Cd, la concentración en *Sardina pilchardus* se ha reportado desde 0,03 mg/kg (Plavan *et al.*, 2017), hasta concentraciones que varían desde 0,07-0,01 mg/kg en el estudio de Özden (2013) realizado en Turquía, siendo en nuestro estudio de 0,02 mg/kg. En *Trachurus picturatus* se ha reportado una concentración de 0,012 mg/kg (Rivas *et al.*, 2014), coincidiendo con la de nuestro estudio (0,011 mg/kg). En el caso del Al, la concentración en *Trachurus picturatus* en el estudio de Raimundo *et al.* (2013) realizado en España (5,813 mg/kg) se acerca bastante a la de nuestro estudio (5,484 mg/kg). Estas comparaciones han sido realizadas con datos de concentraciones en músculo (muestra utilizada en nuestro estudio), ya que normalmente es uno de los lugares donde menos se acumulan metales pesados, siendo más acumulativos la piel, las agallas o el hígado, donde las concentraciones obtenidas en estos estudios citados han sido mayores (Aydin & Tokalioğlu, 2015).

Los metales que muestran una mayor concentración en ambas especies son el Ca, K, Mg y Na, macroconstituyentes de los seres vivos, encontrándose en altas cantidades en el organismo debido al importante papel que juegan. El Ca, se encarga del mantenimiento del tejido óseo, siendo fundamental para el crecimiento; el K, mantiene el equilibrio osmótico y es necesario en la contracción muscular; el Mg, es cofactor de diversas enzimas; y el Na, es fundamental para el funcionamiento de nervios y músculos (Cuadrado, 1995).

En cuanto a las correlaciones entre las concentraciones de metales y los parámetros biométricos del pez como son la longitud o el peso, los resultados nos muestran que existen correlaciones negativas entre el peso y las concentraciones de los metales en la mayoría de los casos. Los datos nos muestran que las correlaciones positivas se encuentran únicamente en el Ni, si tenemos en cuenta las correlaciones de ambas especies en conjunto; y el Zn, si tenemos en cuenta las correlaciones individuales de *Sardina pilchardus*. Los metales en los que no existe ninguna correlación entre su concentración y el peso del individuo, indican que las concentraciones presentes en el organismo se regulan y mantienen a cierta concentración (Canli & Atli, 2003).

Con respecto a las diferencias en la concentración de los metales según el sexo, se puede explicar debido a las diferencias en las actividades metabólicas de los dos sexos. Nussey *et al.* (2000) se encontraron en su estudio con que la media de las concentraciones de los metales en los tejidos de las hembras de *Labeus umbratus*, pez de agua dulce, eran mayores que en los machos. En nuestro estudio, en el caso de *Trachurus picturatus* existían diferencias

significativas entre los sexos únicamente en el Li, siendo mayor la concentración en las hembras. Sin embargo, en el caso de *Sardina pilchardus*, existían diferencias significativas en el Al, Ba y Mg, teniendo únicamente este último una mayor concentración en las hembras.

Según Canli & Atli (2003), se sabe que uno de los factores más importantes, que juega un papel significativo en la acumulación de metales pesados en animales marinos, es la actividad metabólica. También se sabe, que la actividad metabólica de un individuo joven es normalmente mayor que la de un individuo adulto. Por lo que, la acumulación de metales, suele ser mayor en individuos jóvenes (Elder & Collins, 1991; Canli & Furness, 1993b; Nussey *et al.*, 2000). Por ello, una de las explicaciones para las correlaciones negativas entre la concentración de metales y el peso, puede ser la diferencia en la actividad metabólica entre el individuo joven y el adulto. La acumulación neta de metales pesados en los organismos es el resultado de la diferencia entre el consumo y la depuración, siendo el factor más importante en la acumulación de metales (Soto *et al.*, 2008). Las correlaciones positivas entre el tamaño del animal y la concentración de metales, tienen lugar entonces, cuando existe una concentración de los metales en el agua mayor que la capacidad de los individuos mayores de diluir dicha concentración debido al crecimiento y/o la menor actividad metabólica.

Con los resultados de este estudio, podemos afirmar según el Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión de las Comunidades Europeas, que los metales tóxicos Cd y Pb, no exceden las CMA (Concentraciones Máximas Admisibles) para la carne de pescado (Tabla 4). Las CMA de dichos metales son 0,10 mg/kg de Cd y 0,30 mg/kg de Pb. Además, como podemos ver en la estimación de la ingesta dietética, no hay ningún riesgo tóxico en la ingesta de estas dos especies de peces ya que, ningún metal supera la IDR/IDA establecida por la Unión Europea. El Al es el único metal que está próximo a alcanzar la IDA, pero como podemos ver en la tabla 6, para una persona de 70 kg sería necesario consumir 2 kg de pescado por día, por lo que no presenta una peligrosidad inmediata. Sin embargo, en un futuro, la acumulación de los metales analizados en este estudio, puede llegar a tener posibles riesgos para la consumición de dichas especies si la contaminación de los océanos sigue aumentando al ritmo al que lo está haciendo. Por lo que es importante seguir monitorizando el contenido de metales pesados en las especies más consumidas por el ser humano.

5. Conclusiones



1. Las concentraciones de metales en músculo de las especies *Sardina pilchardus* y *Trachurus picturatus* se encuentran dentro de lo establecido en el marco legal de la U.E, tratándose de especies aptas para el consumo humano.
2. Ambas especies presentan concentraciones similares de la mayoría de los metales, existiendo diferencias significativas únicamente en el Ba, Ca, Ni, Pb y Sr.
3. Las correlaciones existentes entre la concentración de metales y el peso del animal son en su mayoría negativas, dejando de manifiesto que para dichos metales en estas especies el incremento de talla y peso no implica incremento de concentración, posiblemente debido a las condiciones metabólicas.
4. El metal más próximo a su IDA (Ingesta Diaria Admisible) es el Al, pero no existe un riesgo inminente, al necesitar consumir una cantidad excesiva para una persona con una dieta normal.

Conclusions

1. Concentrations of metals in muscle of species *Sardina pilchardus* and *Trachurus picturatus* are within the established in the legal framework of the U.E, being species suitable for human consumption.
2. Both species present similar concentrations for most metals, existing significant differences only in Ba, Ca, Ni, Pb and Sr.
3. Existing correlations between metals concentrations and animal weight are mostly negatives, making it clear that for these metals in these species the increased size and weight does not increase concentration, possibly due to the metabolic conditions.
4. The metal more close to his ADI (Acceptable Daily Intake) is Al, but there is no a imminent risk, because is necessary to consume an excessive amount for a person with a normal diet.

6. Agradecimientos

Me gustaría expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que, gracias a su colaboración, han contribuido a que la realización de este Trabajo de Fin de Grado fuera posible.

En especial, a mis tutores, el profesor Gonzalo Lozano Soldevilla (Área de Zoología del Dpto. de Biología Animal y Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna) y Enrique Lozano Bilbao, alumno de doctorado, por haberme dado la oportunidad de realizar este estudio y por la ayuda que me han proporcionado en todo momento; y al profesor Ángel José Gutiérrez Fernández (Área de Toxicología del Dpto. de Obstetricia y Ginecología, Pediatría, Medicina Preventiva y Salud Pública, Toxicología, Medicina Legal y Forense y Parasitología de la Universidad de La Laguna), por su colaboración durante la parte práctica de este estudio y en la realización del análisis estadístico.

7. Bibliografía

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2007. Reseña Toxicológica del Bario y Compuestos de Bario (versión actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2008. Reseña Toxicológica del Aluminio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2010. Toxicological Profile for Boron. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Aydın, D., & Tokalıoğlu, Ş. 2015. Trace metals in tissues of the six most common fish species in the Black Sea, Turkey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 8(1):25-31

Blanco, S.L., González, J.C. & Vieites, J.M. 2008. Mercury, cadmium and lead levels in samples of the main traded fish and shellfish species in Galicia, Spain. *Food Additives and Contaminants*, 1(1):15–21

Caballero, J.M. *et al.* 2014. Composición mineral de los distintos tipos de gofio canario: factores que afectan a la presencia de Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn. *Nutrición Hospitalaria*, 29(3):687-694.

Canli, M., & Atli, G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental pollution*, 121(1):129-136.

Copat, C., Bella, F., Castaing, M., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. 2012. Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(1):78-83.

Cuadrado Vives, M.C. 1995. Ingesta de contaminantes –metales pesados- y nutrientes potencialmente tóxicos vía dieta total en Andalucía, Galicia, Madrid y Valencia. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia. España.

de Alba, M. I. D. 2013. Avances en el control de la contaminación por metales: nuevas metodologías de análisis y especiación metálica en sistemas acuáticos. Estudios en Bahía de Algeciras. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.

Europea, U. 2006. Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2006, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea L*, 364, 20.

Gracia, J. 2010. Estudio de contaminantes orgánicos y metales pesados en las costas de Gran Canaria. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

Gutiérrez, A.J. 2005. Estudio del contenido de metales pesados tóxicos y esenciales en especies de moluscos enlatados de consumo habitual en la isla de Tenerife. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Animal, Universidad de La Laguna, España.

Hernández, C. 2014. Estudio de acumulación de metales pesados en los sedimentos de jaulas de peces de crianza y en puertos de la isla de Tenerife. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna, España. Servicio de Publicaciones.

Hosono, T., Su, C. C., Delinom, R., Umezawa, Y., Toyota, T., Kaneko, S., & Taniguchi, M. 2011. Decline in heavy metal contamination in marine sediments in Jakarta Bay, Indonesia due to increasing environmental regulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(2):297-306.

Idris, A. M., Eltayeb, M. A. H., Potgieter-Vermaak, S. S., Van Grieken, R., & Potgieter, J. H. 2007. Assessment of heavy metals pollution in Sudanese harbours along the Red Sea Coast. *Microchemical Journal*, 87(2):104-112.

Lozano, G. 2010. Metales Pesados: Aportaciones al estudio toxicológico de especies y alimentos marinos en Las Islas Canarias. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias y Técnicas de Navegación, Universidad de La Laguna, España.

Lozano, E., Gutiérrez, A., Lozano, G., Hardisson, A., y Rubio, C. 2016. Contenido de metales pesados y elementos traza en especies de camarones de la Isla de Tenerife. *Capitán*. N° 28. I/2016 pp. 60-72.

Marrero, M.F, Báez, A. 2014. Aplica peces. Manual de identificación de las principales especies pesqueras. Cabildo de Gran Canaria, España.

Méndez-Villamil, M., Lorenzo, J. M., González, J. M., & Soto, R. 2001. Período reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) en aguas de Gran Canaria (islas Canarias). *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*. 13 (1 y 2). 1997:47-55.

Mutlu, C., Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., & Ateş, A. 2012. Comparison of the heavy metal concentrations in Atlantic Horse Mackerel, *Trachurus trachurus*, from coastal waters of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(2):304-307.

Nava-Ruíz C., Méndez-Armenta M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivo Neurociencia*. 16(3):140-47.

Nussey, G., Van Vuren, J.H.J., du Preez, H.H. 2000. Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank dam, Mpumalanga. *Water Sa*, 26:269–284.

Ortiz, J.M., Fernández-Palacios, J., Lanzarote, B., Pérez, J.A. 2012. Mini guía de los peces, crustáceos y moluscos de Canarias. Conoce cómo son y el lugar donde viven. Secretaría General de Pesca. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 80 pp.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2013. Directrices: Ingesta de Sodio en adultos y en niños. Geneva, Suiza.

Özden, Ö. 2013. Monitoring programme on toxic metal in bluefish (*Pomatomus saltatrix*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) from Istanbul, Turkey: Levels and estimated weekly intake. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 90(5):542-551.

Ozuni, E., Dhaskali, L., Abeshi, J., & Beqiraj, D. 2012. Levels Of Heavy Metals (Hg, Pb, Cd, And Cr) In Tissues Of *Trachurus Trachurus*. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 11(3).

Plavan, G., Jitar, O., Teodosiu, C., Nicoara, M., Micu, D., & Strungaru, S. A. 2017. Toxic metals in tissues of fishes from the Black Sea and associated human health risk exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8):7776-7787.

Raimundo, J., Vale, C., Caetano, M., Giacomello, E., Anes, B., & Menezes, G. M. 2013. Natural trace element enrichment in fishes from a volcanic and tectonically active region (Azores archipelago). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 98:137-147.

Rivas, A., Peña-Rivas, L., Ortega, E., López-Martínez, C., Olea-Serrano, F., & Lorenzo, M. L. 2014. Mineral element contents in commercially valuable fish species in Spain. *The Scientific World Journal*.

Rubio, C. 2002. Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria: Evaluación Toxicológica. Tesis Doctoral. Departamento de Pediatría, Obstetricia, Ginecología y Medicina Preventiva. Universidad de La Laguna, España.

Soto, M., Marigómez, I., & Cancio, I. 2008. Biological aspects of metal accumulation and storage. University of the Basque Country. Bilbo, Basque Country, Spain.

Velasco, E.M, Amez, M.A, Punzón, A. 2013. Especies de interés pesquero en Galicia, Asturias y Cantabria. Instituto Español de Oceanografía. Ministerio de Economía y Competitividad. España.

Yusà, V., Suelves, T., Ruiz-Atienza, L., Cervera, M. L., Benedito, V., & Pastor, A. 2008. Monitoring programme on cadmium, lead and mercury in fish and seafood from Valencia, Spain: levels and estimated weekly intake. *Food Additives and Contaminants*, 1(1):22-31.

Páginas web

1. <http://www.fishbase.org/summary/> visitada el 12 de marzo de 2017. Información sobre la sardina (*Sardina pilchardus*) y el chicharro (*Trachurus picturatus*).
2. <http://www.mapama.gob.es/> visitada el 12 de marzo de 2017. Información sobre la sardina (*Sardina pilchardus*) de un informe de la Secretaría General de Pesca, titulado “El mercado de la sardina”.