



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Unidad Académica Mazatlán

Universidad Nacional Autónoma de México



CONCENTRACIONES DE Cd Y Cu EN MÚSCULO, HÍGADO
Y CONTENIDO ESTOMACAL DE LOS ATUNES *Thunnus*
albacares Y *Katsuwonus pelamis* DEL PACÍFICO ORIENTAL

T E S I S

que para obtener el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

(Química Acuática)

presenta

MAURICIO ANTONIO RAMOS OSUNA

Director de tesis: **DR. JORGE RICARDO RUELAS INZUNZA**

Comité Tutorial: **DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA
DRA. SILVIA CASTILLO BLUM
DR. MARTIN G. FRIAS ESPERICUETA
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**

Mazatlán, Sinaloa

Diciembre del 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi familia (Sergio, Carmen, Socorro y mis hermanos) por todo el apoyo brindado.

A mi novia Marcela por tolerar mi cansancio, ausencias, entender mi ritmo de vida y seguir apoyándome.

A Jorge Ruelas por brindarme su amistad, darme los mejores consejos y permitirme seguir trabajando a su lado.

A mis maestros Federico Páez, Martín Soto, Carolina Ruiz, Antonio Calderón y muy en especial para Carlos Green.

A mis compañeros de la maestría en particular a Tovalín, Rafa, Brisa y Sara.

A mis amigos de la licenciatura Dani, Chano, Perla y Jari.

A Evaristo, Mendivil, Aparicio y el resto de mis amigos del ITMaz.

A Dios por permitirme llegar a este momento.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Jorge Ricardo Ruelas Inzunza por haberme aceptado en su laboratorio y así llevar a cabo esta investigación.

A mi comité formado por el Dr. Federico Páez Osuna, Dr. Martín Gabriel Frías Espericueta, Dra. Silvia Castillo Blum y al Dr. Felipe Galván Magaña por sus sugerencias, recomendaciones, correcciones y aportaciones a esta tesis.

Al Dr. Federico Páez Osuna por permitirme usar parte de su laboratorio.

Al Dr. Martín Soto Jiménez quien debió ser parte de mi comité por el conocimiento del tema compartido a esta tesis y por los excelentes consejos en las técnicas analíticas.

Al Quím. Humberto Bojórquez Leyva por la asesoría en el uso y operación del espectrofotómetro de absorción atómica y equipos auxiliares.

Al Dr. Felipe Amezcua Martínez por la identificación taxonómica del contenido estomacal de los atunes.

A la Sra. María Clara Ramírez Jáuregui por asesorar, apoyar, ayudar en la búsqueda bibliográfica y ser ejemplo del trabajo continuo e incesante.

Al Dr. Carlos Green Ruiz por aportar excelentes consejos y recomendaciones en mi formación.

A los trabajadores de la empresa que permitieron los muestreos: Ing. Pedro Garrido, Ing. Marco Alcaraz, Biólogos Eduardo y Luis Raygoza, sin su apoyo este trabajo no se habría culminado en tiempo y forma.

Al M.C. Rafael Hernández Guzmán por su ayuda en la elaboración de mapas.

A la Sra. Margarita Cordero Ruiz por su ayuda en los trámites escolares del Posgrado y por supuesto a las personas que continuaron con estos trámites: Dra. Gloria Vilaclara, M.C. Diana Juárez, Sra. Chantal Ruiz, Sra. Guadalupe Godoy y Sra. Gabriela Almaraz.

A mis compañeros y amigos Carlos Patiño, Brisa Vega, José Ángel Hernández, Pamela Spanopoulos, Nydia Zamora, Misael Zavala, Rocío Ramos, Alexia López, Jarintzin Mones, Silvia Becerra y Georgina Tirado del Laboratorio de metales pesados del Instituto Tecnológico de Mazatlán.

A mis compañeros y amigos de la maestría: Omar Hernández, Sara Bojórquez, Soledad Ibarra, Jorge Ontiveros, Ricardo Colima, Carlo Magno Zarate, Neptalí Morales, Rafael Hernández, Daniel Olvera y Perla Mellado.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por haberme otorgado la beca mediante la cual realicé mis estudios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por permitirme realizar mis estudios y mi tesis de Maestría.

A los policías encargados de la vigilancia del Instituto Tecnológico de Mazatlán por su accesibilidad.

Se agradece el apoyo financiero parcial del CONACYT, a través del proyecto “Contaminantes persistentes en los atunes *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares* provenientes del Océano Pacífico Oriental: compuestos orgánicos persistentes, metales pesados y radionúclidos” (Proyecto SEP-CONACYT 2006; Clave 57310).

Se agradece el apoyo financiero parcial a la DGEST (Dirección General de Educación Superior Tecnológica), por medio del proyecto “Contenido de hierro y zinc en el atún aleta amarilla *Thunnus albacares* proveniente del Pacífico Oriental mexicano” (Proyecto DGEST 2008; Clave 1049.08-P).

RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de Cd y Cu en músculo, hígado y contenido estomacal (0.18 ± 0.15 , 28.2 ± 20 , 11.5 ± 9.9 mg Cd/Kg y 2.18 ± 1.64 , 21.5 ± 21.7 , 12.9 ± 8.9 mg Cu/Kg con base a peso seco, respectivamente) en 44 individuos del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* y 36 organismos del barrilete *Katsuwonus pelamis* (0.23 ± 0.22 , 39.6 ± 17.7 , 20.6 ± 9.8 mg Cd/Kg y 3.31 ± 2.04 , 20.5 ± 9.5 , 33.1 ± 22 mg Cu/Kg con base a peso seco, respectivamente) capturados en el Océano Pacífico Oriental. En general, para ambas especies la concentración de ambos metales fue: hígado > contenido estomacal > músculo. En *K. pelamis* se presentó las mayores concentraciones de cadmio y cobre, con la excepción de la concentración de cobre en el hígado. Se presentaron algunas diferencias significativas en las concentraciones de Cd y Cu en función del tamaño del atún y el sitio de captura de los organismos. La proporción hígado/músculo fue mayor en el cadmio en comparación con el cobre. Al comparar con otros estudios donde se utilizaron las mismas especies, las concentraciones fueron similares con excepción de la concentración de cobre en músculo de *K. pelamis*, siendo mayor al intervalo obtenido en otros estudios. Al comparar los resultados con otras especies, se observa que *K. pelamis* se encuentra entre los principales depredadores que muestran concentraciones elevadas de cadmio y cobre en músculo. Se obtuvo una correlación negativa significativa entre la concentración de cobre en músculo contra la talla y/o peso. El factor de transferencia (del contenido estomacal al músculo) de ambos metales en ambas especies fue menor a 1; mientras que la transferencia al hígado fue mayor a 1. En todos los casos *T. albacares* presentó un mayor factor de transferencia. En el contenido estomacal de *T. albacares* la secuencia de concentración para ambos metales fue moluscos > crustáceos > peces. Las concentraciones de cadmio en el músculo de ambas especies se encontraron muy por debajo del límite máximo permisible de la legislación mexicana (0.5 ppm) y de acuerdo al consumo *per capita* de atún en México (1.3 kg por año), no representa ningún riesgo a la salud.

Abstract

Concentrations of Cd and Cu in muscle, liver and stomach contents (0.18 ± 0.15 , 28.2 ± 20 , 11.5 ± 9.9 mg Cd / kg and 2.18 ± 1.64 , 21.5 ± 21.7 , 12.9 ± 8.9 mg Cu / kg on a dry weight basis, respectively) in 44 individuals of yellowfin tuna *Thunnus albacares* and 36 skipjack *Katsuwonus pelamis* bodies (0.23 ± 0.22 , 39.6 ± 17.7 , 20.6 ± 9.8 mg Cd / kg and 3.31 ± 2.04 , 20.5 ± 9.5 , 33.1 ± 22 mg Cu / kg on a dry weight basis, respectively) caught in the eastern Pacific Ocean were determined. In general, for both species the concentration Cd and Cu was: liver > stomach contents > muscle. The highest concentrations of cadmium and copper were found in *K. pelamis*, with the exception of Cu in the liver. There were some significant differences in the concentrations of Cd and Cu depending on the size of tuna and capture sites. The ratio liver / muscle was higher in cadmium in comparison with copper. When compared with other studies that used the same species, concentrations were similar with the exception of copper concentration in muscle of *K. pelamis*. By comparing the results with other species, it appears that *K. pelamis* is among the top predators that show high concentrations of cadmium and copper in muscle. There was a significant negative correlation between the concentration of copper in muscle against the size and/or weight of specimens. The transfer factor (from stomach contents to the muscle) of both metals in both species was less than 1; while the transfer to liver was greater than 1. In all cases *T. albacares* presented the highest transfer factor. In the gut contents of *T. albacares* the sequence of concentration for both metals was molluscs > crustaceans > fish. The cadmium concentrations in muscle of both species were found well below the maximum allowable limit under Mexican law (0.5 ppm) and according to the *per capita* consumption of tuna in Mexico (1.3 kg per year), it does not constitute a health risk.

INDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Antecedentes	7
3. Objetivos	11
3.1 Objetivo general	11
3.2 Objetivos particulares	11
4. Hipótesis	12
5. Área de estudio	13
6. Metodología	16
6.1 Recolección y disección de organismos	16
6.2 Preparación del material de laboratorio	17
6.3 Procesamiento de muestras	17
6.4 Análisis de cadmio y cobre	18
7. Resultados y discusión	20
7.1 Distribución de cobre y cadmio en músculo, hígado y contenido estomacal del atún aleta amarilla (<i>T. albacares</i>) y del barrilete (<i>K. pelamis</i>)	20
7.2 Relación de las concentraciones de cobre y cadmio con el peso de los atunes estudiados	30
7.3 Transferencia trófica de cadmio y cobre	32
7.4 Comparación de las concentraciones de cobre y cadmio en los atunes estudiados con la legislación ambiental vigente	36
8. Conclusiones	40
9. Literatura citada	42
10. Anexos	51

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica (flama) para el análisis de cadmio y cobre	18
Tabla 2. Condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica (horno de grafito) para el análisis de cadmio y cobre	19
Tabla 3. Porcentajes de recuperación de los materiales de referencia certificados que se utilizaron para validación	19
Tabla 4. Resultados de peso (kg), talla (cm) y concentraciones de cobre y cadmio (mg/kg con base a peso seco) en músculo, hígado y contenido estomacal de los atunes <i>K. pelamis</i> y <i>T. albacares</i> provenientes del Océano Pacífico Oriental	21
Tabla 5. Concentraciones de cadmio y cobre (mg/kg con base a peso seco) en el músculo e hígado de acuerdo a las etapas de madurez sexual de los atunes <i>K. pelamis</i> y <i>T. albacares</i> provenientes del Océano Pacífico Oriental	22
Tabla 6. Concentraciones de cobre y cadmio (mg/Kg con base a peso seco) en músculo e hígado de los atunes <i>K. pelamis</i> y <i>T. albacares</i> en tres zonas del Océano Pacifico Oriental	24

Tabla 7. Concentraciones de cadmio y cobre (mg/kg con base a peso húmedo) en <i>T. albacares</i> , <i>K. pelamis</i> y atún enlatado de diversos sitios	26
Tabla 8. Concentraciones de cadmio en músculo (en mg/Kg con base a peso húmedo) en atunes y peces similares	27
Tabla 9. Concentraciones de cobre en músculo (en mg/Kg con base a peso húmedo) en atunes y peces similares	29
Tabla 10. Correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu en el músculo y el hígado del <i>T. albacares</i> con la talla y el peso; correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu entre los tejidos estudiados.	31
Tabla 11. Correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu en el músculo y el hígado del <i>K. pelamis</i> con la talla y el peso; correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu entre los tejidos estudiados	32
Tabla 12. Factor de transferencia (TF por sus siglas en Inglés) de cadmio y cobre entre el contenido estomacal y el músculo e hígado en los atunes <i>T. albacares</i> y <i>K. pelamis</i> provenientes del Océano Pacífico Oriental	34
Tabla 13. Factores de transferencia (TF por sus siglas en Inglés) de cadmio y cobre entre el contenido estomacal (moluscos, crustáceos y peces) y el músculo e hígado de <i>T. albacares</i> .	34

Tabla 14. Comparación de las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ con base a peso húmedo) de cobre y cadmio en músculo del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) con tres diferentes legislaciones 37

Tabla 15. Porcentaje de muestras que sobrepasaron los límites máximos permisibles de cadmio y cobre en la porción comestible de los atunes estudiados 38

FIGURAS

Figura 1. Zona de pesca del atún en el Océano Pacífico Oriental	14
Figura 2. Localización de los sitios de estudio (a, b, c) en el Océano Pacífico Oriental	14
Figura 3. Proceso de lavado del material de laboratorio.	17

1. INTRODUCCIÓN

Los metales han jugado un papel importante en el desarrollo de las actividades realizadas por el hombre a lo largo de su historia. Actualmente, la extracción, uso y desecho de estos elementos por la humanidad ha provocado que su movilización haya alcanzado niveles elevados. Los aportes antropogénicos de metales han sobrepasado y dominado los procesos globales de intemperismo y erosión, teniendo implicaciones importantes en los organismos que habitan nuestro planeta, incluido el hombre (Obbard, 2001). La contaminación del ambiente marino se ha reconocido como una preocupación ambiental seria (Balkas et al., 1982; Tariq et al., 1991). En el mar, los contaminantes se acumulan en los organismos y sedimentos y posteriormente se transfieren al hombre a través de la cadena alimenticia (Giordano et al., 1991).

Los metales pesados pueden ser de importancia crítica para los procesos vitales de los organismos marinos, a pesar de sus pequeñas concentraciones. El cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, y el zinc son elementos esenciales para el funcionamiento de la flora y fauna marina (Kennish, 2001). El cobalto y el hierro son necesarios para el metabolismo del nitrógeno; el hierro, manganeso y el vanadio son necesarios para la fotosíntesis (Wells et al., 1983). Además, el cobalto, el cobre y el manganeso son necesarios para otras funciones metabólicas.

Varios metales pesados, aunque son esenciales para el crecimiento de los organismos marinos en un intervalo de concentraciones, pueden ser tóxicos en concentraciones mayores (Spaargaren y Ceccaldi, 1984). La toxicidad de los metales pesados en los organismos marinos aumenta en el siguiente orden (Abel, 1989): cobalto < aluminio < cromo < plomo < níquel < zinc < cobre < cadmio < mercurio. Existe una considerable variación en la toxicidad de metales pesados en los organismos marinos debido a que la absorción, el almacenamiento, la desintoxicación y la eliminación de los metales varían mucho entre las diferentes

especies marinas. Según Rainbow (1993), existen diversos factores que afectan a la absorción de metales pesados por estos organismos: factores intrínsecos como el estado nutricional, el flujo osmótico (el diferencial de concentración de metales pesados entre el medio y el organismo), y la superficie de permeabilidad; y factores extrínsecos como la temperatura, la salinidad, presencia o ausencia de otros metales, y la presencia o ausencia de agentes quelantes. Estos factores también pueden afectar a la biodisponibilidad de los metales (es decir, su accesibilidad a los organismos).

Viarengo (1985) divide a los metales pesados en dos clases: los que son esenciales para la función eficaz de los procesos bioquímicos (por ejemplo, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso y zinc); y los que no tienen función biológica establecida pero que son importantes como contaminantes en el medio ambiente (por ejemplo, cadmio, cromo, plomo y mercurio). Los metales de transición (es decir, el cobalto, el cobre, el hierro y el manganeso), aunque son esenciales para la función metabólica de los organismos marinos en bajas concentraciones, pueden ser tóxicos en altas concentraciones. Los metaloides (por ejemplo, arsénico y selenio), en cambio, no son necesarios para la actividad metabólica pero pueden ser tóxicos a bajas concentraciones (Viarengo, 1989).

El cadmio se ha reconocido en todo el mundo como un peligro para la salud pública. Su persistencia en el medio ambiente y su larga vida media biológica, del orden de 10 a 40 años, en el cuerpo humano, especialmente en los riñones, constituye un factor tóxico adicional (Vahter et al., 1996).

El cobre es un elemento esencial para la vida de los organismos, pues forma parte de la estructura de más de 30 enzimas y otras moléculas biológicas (Harris, 1991). Sin embargo el cobre en concentraciones elevadas puede ser tóxico para los organismos acuáticos (Aloj Totaro et al., 1986; Uma-Devi y Prabhakara-Rao, 1989; Frías-Espericueta et al., 2008).

En los organismos acuáticos existen mecanismos para la incorporación de metales como la bioconcentración. En los peces es la asimilación de sustancias químicas a través de la superficie respiratoria y/o la piel, y como resultado de ello la concentración de la sustancia química en un organismo acuático es mayor que la del agua. Otro mecanismo es la bioacumulación, un proceso que causa un aumento de la concentración de la sustancia química en un organismo acuático en comparación con el agua, es la absorción por todas las vías de exposición incluyendo la absorción a través del alimento, transporte a través de la superficie respiratoria y la absorción cutánea. La bioacumulación puede concebirse como una combinación de la bioconcentración y la absorción de alimentos. También existe un caso especial de la bioacumulación que es la biomagnificación, donde la concentración de una sustancia química en un organismo excede a la concentración de la sustancia química en los organismos de su dieta (Mackay y Fraser, 2000).

Considerando el panorama anterior, es importante determinar la calidad química de los recursos marinos, particularmente el contenido de metales pesados, para evaluar el riesgo posible para la salud humana a través del consumo de peces (Cid et al., 2001). En este sentido, se ha establecido en diversos estudios que diversas especies de atunes son adecuadas para el monitoreo global de compuestos orgánicos, radionúclidos y metales pesados (Ueno et al., 2003; 2004a; 2004b).

Un biomonitor ideal para metales pesados debe reunir los siguientes requisitos (Phillips y Rainbow, 1993):

- El biomonitor debe ser sésil o sedentario, para ser representativo de la zona de estudio.
- El biomonitor debe ser abundante en la zona de estudio, fácil de identificar y encontrarse en todo momento del año, y con suficiente tejido para el análisis del contaminante.

- El biomonitor debe ser resistente, tolerar una amplia gama de concentraciones de contaminantes y de algunas de las variables fisicoquímicas como la salinidad.
- El biomonitor debe ser un fuerte acumulador de metales pesados, con una correlación entre la concentración de metales encontrados en los tejidos del biomonitor y la concentración de metal biodisponible del medio ambiente. Esta correlación debe ser la misma en todos los sitios de estudio.

De acuerdo a lo planteado anteriormente, el atún sólo reúne algunos atributos del biomonitor ideal y no existe una especie que cumpla con todos los atributos deseables, sin embargo, en función del tipo de problemática ambiental y las necesidades de generar determinado tipo de información, este es el tipo de organismo a utilizar. El atún, como excelente fuente de proteínas de alta calidad, es rico en una variedad de nutrientes como los minerales, el selenio, el magnesio, el potasio, la vitamina B y los ácidos grasos omega-3. Sin embargo, ya que el atún es un depredador, puede concentrar cantidades elevadas de elementos y compuestos persistentes, particularmente mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados, hidrocarburos poliaromáticos y radionúclidos (^{210}Po y ^{210}Pb) (Enomoto y Uchida, 1973; Schmitt y Brumbaugh, 1990). Estas sustancias, además de ser persistentes, son lipofílicas y bioacumulables. Eventualmente, este tipo de contaminantes son magnificados en algunos componentes de la cadena trófica, lo cual constituye un riesgo para la vida salvaje y el humano que los consume (Van Den Berg et al., 1998).

Las especies utilizadas en este estudio son el atún aleta amarilla (*T. albacares*) y el barrilete (*K. pelamis*) que pertenecen a la familia Scombridae (géneros *Thunnus* y *Katsuwonus*), ambas especies son epipelágicas que se alimentan de una gran variedad de peces, crustáceos, moluscos y cefalópodos (Fischer et al., 1995). Son los atunes con mayores capturas en el Océano Pacífico Oriental, representando más del 80% de estas capturas en los atunes, de ellos el

de mayor captura en el 2007 y 2008 fue el barrilete, superando en el 2008 por más de 100 toneladas al aleta amarilla (CIAT, 2009).

El atún aleta amarilla (*T. albacares*) es una especie que se encuentra tanto por encima como por debajo de la termoclina, en aguas de temperaturas entre 18 y 31°C. Es una especie muy sensible a concentraciones bajas de oxígeno, por lo cual su presencia está limitada a la capa superior de agua. Generalmente forma cardúmenes diferenciados por tallas cerca de la superficie y que a veces incluyen otros organismos (Fischer et al., 1995).

En el barrilete (*K. pelamis*) los adultos siguen la isoterma de 15°C: mientras que los juveniles están confinados a aguas más cálidas (mayores de 25°C). Esta especie forma grupos generalmente asociados con convergencias y zonas limítrofes entre masas de aguas frías y cálidas, zonas de surgencias y otros sitios de discontinuidad hidrográfica. Su distribución vertical va desde la superficie hasta unos 260 m de profundidad durante el día, mientras que en la noche la población se concentra en aguas superficiales. El canibalismo es un fenómeno bastante común en esta especie (Fischer et al., 1995).

El cadmio se acumula principalmente en el hígado y riñón de los organismos (Hellawell, 1989). Específicamente, para estos atunes (*T. albacares* y *K. pelamis*) existe un estudio en el oeste del Océano Índico, donde las mayores concentraciones de cadmio y cobre se presentaban en el hígado (Kojadinovic et al., 2007).

En este estudio se presentan las concentraciones de cadmio y cobre en músculo, hígado y contenido estomacal del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) provenientes del Océano Pacífico Oriental. A partir de esta información se establecerá el grado de transferencia trófica de estos metales en los organismos y el riesgo potencial a la salud humana. Asimismo, la información

generada permite conocer más acerca de la dinámica del cadmio y del cobre en los organismos del Océano Pacífico Oriental.

2. ANTECEDENTES

Existen diversos y numerosos estudios de metales pesados y otros contaminantes en organismos marinos consumidos por el hombre, debido a los efectos que provocan a la salud algunas de estas sustancias. Este es el caso del atún, un organismo altamente consumido por el hombre en el mundo. Estos estudios son realizados principalmente a nivel mundial y en menor escala en México. Se presentan algunos a continuación.

Voegborlo et al. (1999) determinaron los niveles de mercurio, cadmio y plomo en atún capturado en las costas mediterráneas de Libia; sus resultados mostraron que los niveles de estos metales pesados (0.29 µg/g de Hg, 0.18 µg/g de Cd y 0.28 µg/g de Pb) en latas procesadas, se encontraban en concentraciones por debajo de los niveles permisibles (FAO/OMS, 1972) y su contribución puede considerarse insignificante.

Existe un estudio del monitoreo de contaminantes orgánicos persistentes (PCBs) y compuestos clorados (CHLs), utilizando al barrilete como bioindicador de contaminación de estos compuestos orgánicos. Este monitoreo se realizó en aguas de Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Seychelles, Brasil y China, donde los niveles más altos de PCBs (1100 ng/g en grasa) y CHLs (250 ng/g en grasa) se presentaron en aguas de Japón (Ueno et al., 2003).

Storelli et al. (2005) realizaron estudios de algunos metales pesados (mercurio, cadmio, plomo y arsénico), en el pez espada y el atún aleta azul obtenidos en el Mar Mediterráneo. Ellos compararon las concentraciones (en µg/g de peso húmedo) de Hg, Cd, Pb y As en el tejido muscular (0.2, 0.02, 0.1 y 2.61, respectivamente) y en el hígado (0.39, 1.5, 0.21 y 7.07, respectivamente) del atún aleta azul con las concentraciones del pez espada en el tejido muscular (0.07, 0.005, 0.05 y 3.68, respectivamente) y en el hígado (0.19, 0.16, 0.09 y 6.23, respectivamente). Concluyeron que la concentración del hígado es en promedio el

doble que la concentración del tejido muscular en todos los metales analizados, con la excepción del cadmio, donde la concentración de este metal era mucho mayor al doble en el hígado en comparación con la del tejido muscular y además concluyeron, que las concentraciones de metales pesados eran mayores en el atún aleta azul con respecto al pez espada.

En el Golfo Pérsico (Irán) se analizaron Hg, Cd, Pb y As en atún, demostró que las concentraciones ($\mu\text{g/g}$ de peso húmedo) de estos elementos (0.117, 0.0223, 0.0366 y 0.128, respectivamente) se encuentran por debajo de los niveles permisibles por la FAO/WHO (Emami Khansari et al., 2005).

El análisis de As, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg y Se en organismos marinos comerciales en New Jersey, demostró que el atún aleta amarilla tiene las siguientes concentraciones (en peso húmedo) 1, 0.03, 0.2, 0.04, 0.15, 0.65 y 0.75, respectivamente en ppm, en el caso de la concentración de cadmio en atún concluyeron que solo 7 muestras sobrepasaron los 0.5 ppm (Burger y Gochfeld, 2005).

Las concentraciones de Hg, As, Ag, Cr, Cd, Co, Mn, Pb, Ni, Sn, Fe, V, Cu y Zn en diferentes pescados enlatados comprados en Georgia y Alabama, mostró que el atún enlatado contiene las siguientes concentraciones ($\mu\text{g/kg}$ de peso húmedo): 284.8, 310, 0, 5.7, 1.9, 6.8, 220, 1.1, 4.3, 330, 15800, 5.4, 250 y 4780, respectivamente. De este estudio sólo una muestra de atún presentó una concentración de cadmio elevada (53.9 g/Kg de peso húmedo) y era 10 veces menor al límite de Comité de lineamientos en aditivos alimentarios y contaminantes (CCFAC, 2001). Todas las concentraciones de cobre estaban por debajo de los límites de la legislación del Reino Unido (MAFF, 1995; FAO, 1983; Ikem y Egiebor, 2005).

Besada et al. (2006) realizaron un estudio sobre algunos metales pesados en tejido muscular de atún blanco, rabil (*T. albacares*) y patudo procedentes del

Océano Atlántico. Ellos determinaron las concentraciones en mg/kg de peso húmedo de Hg, Cd, Pb, As, Cu y Zn en 67 muestras, y sus resultados medios fueron 0.19, 0.013, 0.007, 0.585, 0.348 y 4.48 para atún blanco; 0.327, 0.004, 0.01, 0.601, 0.297 y 4.82 para rabil y 0.761, 0.01, 0.01, 1.89, 0.279 y 4 para patudo, respectivamente. Los valores de Cd se encontraron muy alejados del límite regulado por la Comunidad Europea y los valores de Cu fueron 25 veces inferiores al límite del Reino Unido. Además, se concluyó que el rabil presenta los valores más bajos de los metales analizados.

Un estudio en el oeste del Océano Índico (canal de Mozambique y la Isla Reunion) sobre Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en músculo, hígado y riñón del pez espada, atún aleta amarilla, barrilete y dorado, mostró que los valores de cobre en músculo e hígado fueron 0.97 ± 0.23 y 121 ± 74 para el atún aleta amarilla del canal de Mozambique; mientras que en la Isla Reunion fueron 1.99 ± 1.47 y 240 ± 620 , respectivamente; y los valores de cobre del barrilete en la Isla Reunion de músculo e hígado fueron 1.02 ± 0.89 y 93.6 ± 75.3 . Para el cadmio las concentraciones de músculo e hígado fueron 0.25 ± 0.21 y 138 ± 60 para el atún aleta amarilla proveniente del canal de Mozambique, mientras que en la Isla Reunion fueron 0.23 ± 0.20 y 126 ± 130 , respectivamente; y los valores de cadmio del barrilete en la Isla Reunion de músculo e hígado fueron 0.61 ± 0.37 y 153 ± 95 , todos los valores se encuentran en $\mu\text{g/g}$ de peso seco. Adicionalmente, se compararon las concentraciones de cadmio en músculo con el límite de consumo humano de la Comisión Europea ($0.1 \mu\text{g Cd/g}$ de peso húmedo) y las conclusiones fueron que el límite se excedía en 18 y 81% de los casos para atún aleta amarilla y barrilete provenientes de la Isla Reunion, respectivamente; mientras que en el canal de Mozambique ningún atún aleta amarilla sobrepasó este límite (Kojadinovic et al., 2007).

En el Océano Pacífico Oriental los estudios publicados relacionados con las concentraciones de cadmio y cobre en atunes y otras especies de depredadores son escasos.

En un estudio realizado en el Golfo de California (sistema lagunar de Guaymas y de Altata-Ensenada del Pabellón) en peces de consumo humano, se informaron las concentraciones de metales pesados, los niveles más altos de cadmio (mg/kg en peso seco) fueron encontrados en el hígado de los tiburones *Sphyrna lewini* (165±112) y *Carcharhinus leucas* (165±22) provenientes del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Las concentraciones de cadmio y cobre en músculo del *S. lewini* y del *C. leucas* fueron 8.1±0.4, 2.8±0.14 y 20.6±0.4, 1.8±0.7, respectivamente. Los autores concluyeron que no existía un riesgo para la salud humana, debido al porcentaje de ingesta semanal de cadmio encontrado en estos organismos, pues representaba un 80% y 27.8%, respectivamente (Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna, 2007).

En un estudio realizado en el Golfo de California (Altata-Ensenada del Pabellón) se muestra la distribución de algunos metales pesados en la cadena trófica (cadmio, plomo y zinc), desde productores primarios hasta depredadores tope. Se examinaron 31 interacciones tróficas, de las cuales en 20 casos el factor de transferencia del cadmio resultó mayor a 1. Las mayores transferencias tróficas de cadmio se encontraron en los niveles tróficos más bajos (Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna, 2008).

En un estudio realizado en las costas del Estado de Sinaloa (Golfo de California) se analizaron las concentraciones de Cd, Cu y Pb en peces con diferentes hábitos alimenticios. Los autores compararon las concentraciones de Cu con los límites de la legislación australiana, donde cuatro especies carnívoras y cinco no carnívoras sobrepasaron estos límites. En relación con el cadmio, también se compararon las concentraciones con los límites de la legislación de México, dos especies carnívoras y una no carnívora sobrepasaron estos límites (Ruelas-Inzunza et al., 2009).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar las concentraciones de Cd y Cu en los atunes *T. albacares* y *K. pelamis* recolectados en el Océano Pacífico Oriental.

3.2 Particulares

- Determinar la concentración de Cd y Cu en músculo, hígado y contenido estomacal en el atún aleta amarilla (*T. albacares*).
- Determinar la concentración de Cd y Cu en músculo, hígado y contenido estomacal en el barrilete (*K. pelamis*).
- Comparar las concentraciones de Cd y Cu entre músculo, hígado y contenido estomacal de las dos especies de atunes.
- Relacionar los niveles de Cd y Cu con el peso y la talla de los organismos.
- Estimar la transferencia trófica de Cd y Cu en las dos especies.
- Comparar las concentraciones de Cd y Cu en el músculo, con los límites máximos permisibles y estimar el riesgo potencial a la salud humana ocasionado por Cd y Cu con referencia a las tasas de consumo humano.

4. HIPÓTESIS

Se espera obtener menores concentraciones de Cd en comparación con el Cu, debido a que el cadmio es un elemento no esencial y por lo tanto no participa en actividades metabólicas esenciales para su desarrollo. El Cu es un elemento esencial que desarrolla importantes actividades en moléculas biológicas y por lo tanto la asimilación del Cu debe ser mayor que la del Cd desde los niveles anteriores de la cadena trófica.

El contenido estomacal reflejará directamente la cantidad del elemento que ingrese por medio de la dieta del organismo y probablemente sea mayor que la porción del músculo.

El hígado será el tejido con mayor concentración de Cd y Cu.

Se espera que las concentraciones de ambos metales varíen directamente con el peso y la talla del organismo.

El atún aleta amarilla (*T. albacares*) tendrá mayores concentraciones de ambos metales en comparación con el barrilete (*K. pelamis*), debido a que se encuentra en un nivel trófico más elevado.

Las concentraciones de ambos metales en el músculo del barrilete (*K. pelamis*) y del atún aleta amarilla (*T. albacares*) serán inferiores a los límites máximos permisibles.

5. AREA DE ESTUDIO

Los atunes son el grupo de peces probablemente mejor adaptados al medio epipelágico oceánico; la mayoría de los atunes son especies cosmopolitas que se distribuyen a lo largo y ancho de los principales mares del mundo (Compeán-Jiménez, 1985).

Sin embargo, los atunes son muy sensibles a los cambios físicos que estacionalmente se presentan en el mar, principalmente frentes térmicos, de salinidad o de turbidez, así como también son sensibles a las variaciones en la productividad del medio marino. Todo lo anterior aunado a su gran capacidad de desplazamiento, hace que las áreas de pesca se extiendan a lo largo de amplias zonas del Océano y a que algunas especies puedan encontrarse en profundidades hasta de 380 metros (Compeán-Jiménez, 1985).

En el Océano Pacífico Oriental la pesca de túnidos está dirigida principalmente al atún aleta amarilla (*T. albacares*) y el barrilete (*K. pelamis*) (Blackburn, 1965; CIAT, 2009). En México, estos atunes soportan una pesquería comercial importante. La flota mexicana se considera como la más importante en el Pacífico Oriental, la cual se compone de 60 barcos (Collette y Nauen, 1983).

En la figura 1 se muestran las áreas de mayor pesca del atún, con una línea de división en la zona marítima exclusiva de México, demostrando que esta pesquería sucede en aguas nacionales e internacionales (Villaseñor-Casales, 2001). En la figura 2 se presentan los sitios de pesca del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) en el Océano Pacífico Oriental agrupados en tres zonas.

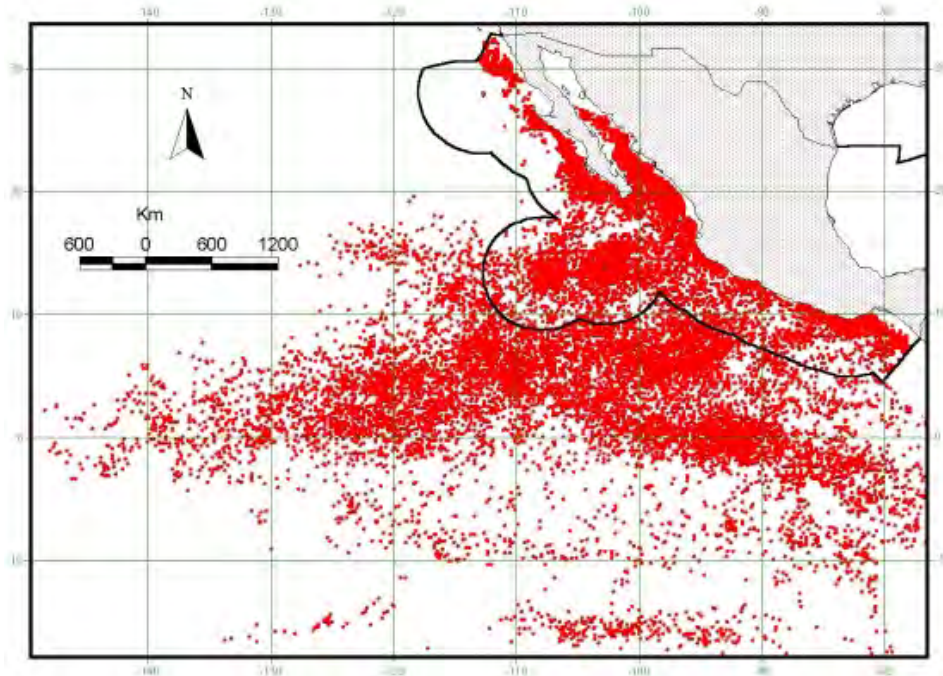


Figura 1. Zona de pesca del atún en el Océano Pacífico Oriental.

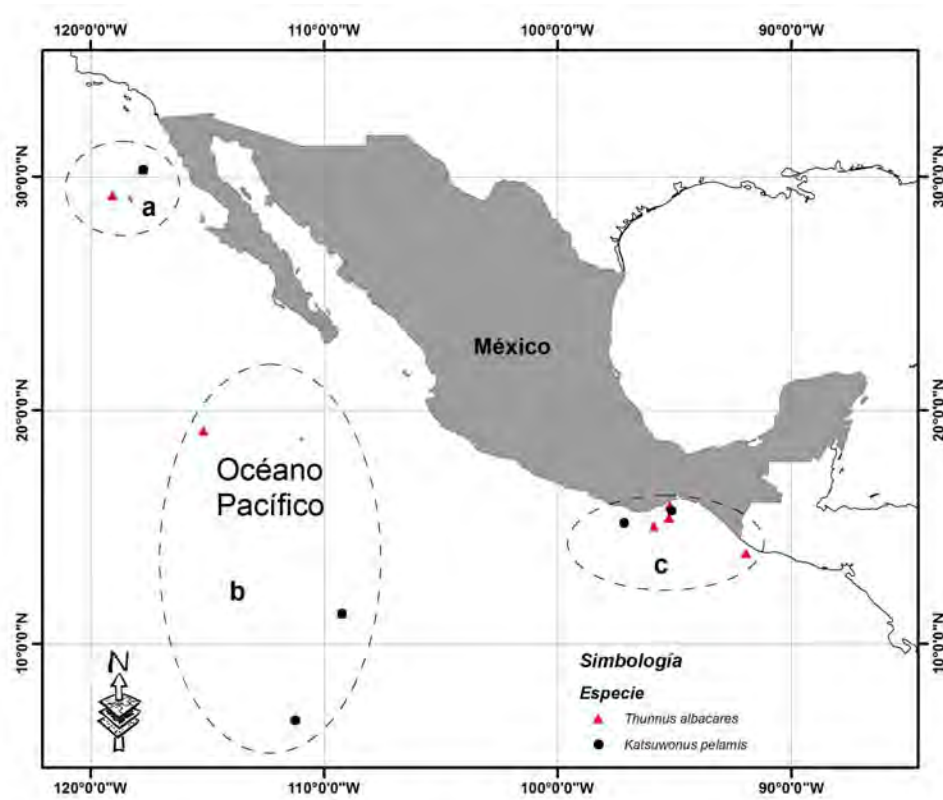


Figura 2. Localización (a, b, c) de los sitios de estudio en el Océano Pacífico Oriental.

En la figura 2, se presentan tres zonas de recolección de muestras, la zona “a” frente a Baja California, la zona “b” en la zona oceánica cerca de la Isla Clipperton y la zona “c” en la zona del Golfo de Tehuantepec.

6. METODOLOGÍA

6.1 Recolección y disección de los organismos

La captura de los organismos se realizó por medio de la flota atunera con base en Mazatlán, Sinaloa. Los atunes fueron capturados en diversos sitios en el Pacífico Oriental (Anexo 1) entre el 1 de marzo y el 26 de septiembre del 2008. La identificación del contenido estomacal fue realizada por personal de ICMYL de la UNAM en Mazatlán utilizando la guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca (Fischer et al., 1995). La determinación de la talla se realizó con una cinta métrica. Las tallas consideradas para este estudio fueron la longitud total (del extremo de la boca a la parte final de la aleta caudal) y la longitud furcal (de la mandíbula superior hasta la horquilla de la aleta caudal).

El peso de los organismos se determinó con una balanza granataria marca EXCELL. En el caso de organismos grandes del atún aleta amarilla, la estimación del peso se realizó con base a la fórmula propuesta por Tantivala (2000) utilizada para determinar el peso de peces pelágicos tropicales ($W = aL^b$). Donde W es el peso del pescado, L la longitud furcal, a representa la constante de las hembras (54×10^{-6}) y de los machos (41×10^{-6}) del atún aleta amarilla, b representa la constante de las hembras (2.72) y de los machos (2.79) del atún aleta amarilla. Sin embargo, los pesos también pueden ser estimados por la fórmula propuesta para el atún aleta amarilla por la CIAT (Miyake, 1990), la cual no realiza distinción del sexo del organismo. La fórmula es $PV = (2.153 \times 10^{-5}) LF^{2.975}$, donde PV es el peso del organismo y LF es la longitud furcal. Los datos arrojados por ambas formulas son similares con unas pequeñas diferencias en el caso de los machos ($\approx 2\%$ como diferencia máxima).

La disección de los organismos consistió en realizar un corte en la porción dorsal media por medio de un bisturí de acero inoxidable con la finalidad de obtener una porción de músculo. Para la obtención del hígado, se realizó un corte

del orificio anal a la base de las aletas pectorales y posteriormente dos cortes perpendiculares para dejar al descubierto las vísceras y extraer el hígado. Para obtener el contenido estomacal, se extrajo el estómago completo y se vació su contenido en bolsas de plástico de cierre hermético. La identificación taxonómica de los componentes del contenido estomacal se realizó en el Laboratorio de Ictiología de la Unidad Académica Mazatlán de la UNAM.

6.2 Preparación del material de laboratorio

El material se lavó previamente de acuerdo al método propuesto por Moody y Lindstrom (1977), con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación e interferencia durante los análisis (figura 3).

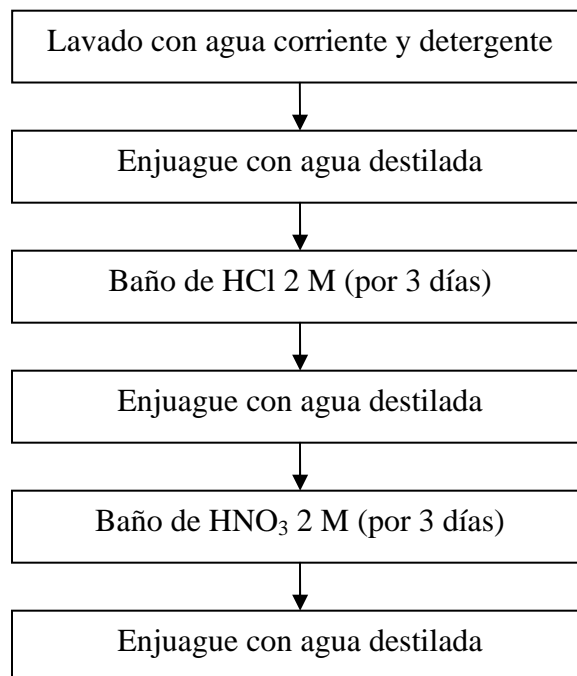


Figura 3. Proceso de lavado del material de laboratorio.

6.3 Procesamiento de las muestras

Las muestras fueron liofilizadas en un equipo marca Labconco durante 72 horas a 80×10^{-3} mBar y -52°C para eliminar la mayor cantidad de humedad

posible. Posteriormente las muestras fueron molidas manualmente en un mortero de ágata marca Fisher Scientific.

Las muestras ya liofilizadas y molidas pasaron por un proceso de predigestión, donde una porción (0.25 g) de cada muestra fue puesta en recipientes Savillex, se agregó 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado y se dejó en reposo aproximadamente 15 horas. Para continuar con la mineralización se cerraron los recipientes y se sometieron durante 3 horas a una temperatura de 120°C (MESL, 1997). Por último se aforó en otro recipiente a un aproximado de 25 g.

6.4 Análisis de Cd y Cu

Los análisis de ambos metales se realizaron por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectraaA220 (tablas 1 y 2), mediante el método de flama (hígado y contenido estomacal) y método de horno de grafito (músculo).

Tabla 1. Condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica (flama) para el análisis de cadmio y cobre.

Elemento	Longitud de Onda (nm)	Ancho de banda (nm)	Combustible		Corriente en Lámpara (mA)
			Mezcla	Flama	
Cobre	324.7	0.5	Aire-acetileno	Oxidante	4
Cadmio	228.8	0.5	Aire-acetileno	Oxidante	4

Para asegurar la calidad de los resultados obtenidos en los análisis se analizaron muestras de material de referencia certificado cada 25 muestras y/o cada vez que se corría una curva de calibración. Además cada lote de muestras tenía un blanco y todas las muestras de músculo e hígado se corrieron por duplicado; en las muestras del contenido estomacal la cantidad de material fue un factor limitante para realizar duplicados. El material de referencia que se utilizó era aproximado a las concentraciones analizadas en nuestras muestras. En el análisis de músculo de ambos metales se utilizó el NIST 2977 y el IAEA 359, mientras que

para en hígado y contenido estomacal en ambos metales se utilizó el DOLT-4. En la tabla 3 se encuentran los porcentajes de recuperación de los materiales de referencia utilizados.

Tabla 2. Condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica (horno de grafito) para el análisis de cadmio y cobre.

Etapa	Temperatura (°C)		Tiempo (segundos)		Flujo de gas (L/min)		Lectura
	Cadmio	Cobre	Cadmio	Cobre	Cadmio	Cobre	
1	85	85	5	5	3	3	No
2	95	95	40	40	3	3	No
3	120	120	10	10	3	3	No
4	250	800	5	5	3	3	No
5	250	800	1	1	3	3	No
6	250	800	2	2	0	0	No
7	1800	2300	0.8	1.1	0	0	Si
8	1800	2300	2	2	0	0	Si
9	1800	2300	2	2	3	3	No

Tabla 3. Porcentajes de recuperación de los materiales de referencia certificados que se utilizaron.

Código del Material	Matriz	% de recuperación	
		Cd	Cu
NIST 2977	Ostión	102.3	97.8
IAEA 359	Repollo	99.5	92.3
DOLT-4	Hígado – tiburón	99.6	107.5

Finalmente para calcular las concentraciones se aplicó la densidad promedio de 1.09 g/ml en el aforo y se aplicó una correlación de acuerdo a las diluciones realizadas. Para realizar el cálculo de peso seco a peso húmedo se utilizó el promedio del porcentaje de humedad que fue de 70.71% para el hígado y el músculo.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Distribución de cobre y cadmio en músculo, hígado y contenido estomacal del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*).

Se analizaron 36 barriletes (*K. pelamis*) y 44 atunes aleta amarilla (*T. albacares*). La mayor talla en el barrilete fue 62 cm y la menor fue 38 cm de longitud furcal. En el atún aleta amarilla la mayor talla fue 161 cm y la menor fue 39 cm de longitud furcal. En los anexos 2 (*K. pelamis*) y 3 (*T. albacares*) se pueden encontrar el número de identificación, longitud total, longitud furcal, peso y las concentraciones de cadmio y cobre en músculo e hígado de ambas especies.

En la tabla 4 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en músculo, hígado y contenido estomacal del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) provenientes del Océano Pacífico Oriental. En general para ambas especies el orden de concentración de cadmio fue hígado>contenido estomacal>músculo; para el atún aleta amarilla existieron diferencias significativas entre la concentración del músculo y la del hígado ($p<0.001$) y entre el músculo y el contenido estomacal ($p<0.001$). Para este mismo metal, también existió una diferencia significativa en la concentración del hígado contra la del contenido estomacal ($p<0.05$).

La concentración de cobre en el atún aleta amarilla (*T. albacares*) presentó una secuencia de concentración similar a la obtenida en el cadmio, donde sólo se presentaron diferencias significativas en la concentración del músculo contra la del hígado ($p<0.001$) y entre la concentración de músculo contra la del contenido estomacal ($p<0.001$). En el caso de las concentraciones de cobre en el barrilete (*K. pelamis*) la secuencia de estas concentraciones fue contenido estomacal>hígado>músculo. En el barrilete no pudo establecerse la diferencia entre las tres porciones debido a que en el contenido estomacal sólo se tenían 4 datos, que fueron insuficientes para el análisis estadístico y por ello sólo se

establecieron las diferencias significativas entre las concentraciones de cadmio y cobre en el músculo contra la del respectivo metal en el hígado ($p < 0.0001$).

Para ambas especies, el cobre presentó mayor concentración que el cadmio en el músculo y en el contenido estomacal, mientras en el hígado fue el cadmio el de mayor concentración.

Tabla 4. Resultados de peso (Kg), talla (cm) y concentraciones de cobre y cadmio (mg/Kg con base a peso seco) en músculo, hígado y contenido estomacal de los atunes *K. pelamis* y *T. albacares* provenientes del Océano Pacífico Oriental.

Especie	Nombre común	n	Peso (kg)	Longitud total (cm)	Longitud furcal (cm)	Porción	Cd	Cu
<i>Katsuwonus pelamis</i>	barrilete	36	3.1 ±1.4	55.4 ±7.6	51.6 ±7.1	M	0.23±0.22 ^{ab}	3.31±2.04 ^{de}
						H	39.6±17.7 ^{ac}	20.5±9.5 ^d
						CE	20.6±9.8 ^{bc}	33.1±22 ^e
<i>Thunnus albacares</i>	atún aleta amarilla	44	13.8 ±17.2*	86.2 ±33.7	78.6 ±30.2	M	0.18±0.15 ^f	2.18±1.64 ^g
						H	28.2±20 ^f	21.5±21.7 ^g
						CE	11.5±9.9	12.9±8.9

n = número de individuos; M = músculo; H = hígado; CE = contenido estomacal; superíndices iguales indican diferencias significativas ^a $p < 0.001$, ^b $p < 0.001$, ^c $p < 0.05$, ^d $p < 0.001$, ^e $p < 0.001$, ^f $p < 0.0001$, ^g $p < 0.0001$; *algunos pesos estimados mediante la talla.

Al comparar ambos organismos como se muestra en la tabla 4, la concentración de cobre en el músculo y en el contenido estomacal fue mayor para el barrilete (*K. pelamis*), mientras que para este mismo metal las mayores concentraciones en el hígado se presentaron en el atún aleta amarilla (*T. albacares*). Solo la concentración de cadmio fue mayor en las tres porciones del barrilete (*K. pelamis*).

En un estudio de isótopos estables realizado en la Isla Reunion que se encuentra en el oeste del Océano Índico (Kojadinovic et al., 2008), se demostró que el nivel trófico del atún aleta amarilla (*T. albacares*) es mayor en comparación con el del barrilete (*K. pelamis*). Sin embargo, un factor intrínseco como lo son los hábitos alimenticios, pueden ocasionar que un metal presente mayor concentración en un organismo de nivel trófico inferior, debido al consumo de uno

o varios organismos que presenten elevadas concentraciones del metal, tal fue el caso en este estudio, donde el contenido estomacal presentó mayor concentración de cadmio en *K. pelamis* y por ello, esta especie presentó mayores concentraciones de este metal en el músculo e hígado. Otro factor intrínseco a considerar es la edad del organismo, en este sentido, Rainbow (1993) menciona que tanto los factores intrínsecos como los extrínsecos afectan y por lo tanto el lugar de desplazamiento puede ser un factor a considerar.

El barrilete (*K. pelamis*) alcanza la madurez sexual a los 45 cm de longitud furcal (Fischer et al., 1995), de acuerdo a lo anterior 6 barriletes fueron juveniles y el resto adultos (30). En el atún aleta amarilla (*T. albacares*) se sabe que las hembras más pequeñas encontradas en estado de madurez sexual miden de 50 a 60 cm de longitud furcal; la primera talla de madurez (50% de las hembras con capacidad de reproducirse) se ubica entre 97 y 101 cm, finalmente a partir de 108 cm todas las hembras son sexualmente maduras. En el Atlántico Oriental se ha establecido como talla de primera madurez 91.4 cm de longitud furcal para los machos (Albaret, 1977). En este estudio no se realizó la distinción de sexo en todos los organismos y por lo anterior para el atún aleta amarilla se toma como talla de madurez a partir de 91 cm de longitud furcal. En el atún aleta amarilla 31 fueron juveniles y el resto adultos (13).

Tabla 5. Concentraciones de cadmio y cobre (mg/kg con base a peso seco) de acuerdo a las etapas de madurez sexual en el músculo e hígado de los atunes *K. pelamis* y *T. albacares* provenientes del Océano Pacífico Oriental.

Especie	Etapa	Cu		Cd	
		Músculo	Hígado	Músculo	Hígado
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Juvenil	5.73±3.1 ^a	19.9±11.3	0.16±0.08	43.4±6.92
	Adulto	2.83±1.4 ^a	20.6±9.4	0.25±0.24	38.9±19.1
<i>Thunnus albacares</i>	Juvenil	2.55±1.8 ^b	16.7±10.4 ^c	0.17±0.13	27.2±16.7
	Adulto	1.29±0.27 ^b	33±34.8 ^c	0.20±0.20	30.43±27.0

^a p=0.0007; ^b p=0.0187; ^c p=0.0206

En la tabla 5 se observa que en el barrilete (*K. pelamis*) los juveniles presentaron mayores concentraciones de cobre en músculo y cadmio en hígado; en el resto de los casos para esta especie los adultos presentaron mayores concentraciones, sólo existieron diferencias significativas en la concentración de cobre en músculo ($p < 0.001$). En el atún aleta amarilla (*T. albacares*) los juveniles presentaron mayores concentraciones de cobre en músculo y en el resto de los casos los adultos presentaron las mayores concentraciones. Sin embargo, sólo se presentaron diferencias significativas en la concentración de cobre en músculo ($p < 0.02$) e hígado ($p < 0.03$).

En la tabla 5 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en músculo de juveniles y adultos de ambas especies. Se observa que las mayores concentraciones de cobre en juveniles y adultos se presentaron en el barrilete (*K. pelamis*). Las mayores concentraciones de cadmio en juveniles se presentaron en el atún aleta amarilla (*T. albacares*), mientras que en adultos se presentaron en el barrilete (*K. pelamis*).

En la tabla 5 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en hígado de juveniles y adultos de ambas especies. Las mayores concentraciones de cobre en juveniles se presentaron en el barrilete (*K. pelamis*) mientras en los adultos fue el atún aleta amarilla (*T. albacares*). Las mayores concentraciones de cadmio en hígado se presentaron en juveniles y adultos del barrilete (*K. pelamis*).

Se sabe que el peso de los organismos (como indicativo de su edad) es una variable que ayuda a explicar las diferencias entre concentraciones de metales en organismos de una misma especie. En el presente estudio se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso de los atunes; el peso de *T. albacares* fue mayor en la zona "a" que en la zona "c" y el peso de *K. pelamis* fue significativamente mayor en los organismos de la zona "a" que en las zonas "b" y "c". En el estudio de Kojadinovic et al. (2007) el lugar de desplazamiento fue un

factor importante para la existencia de diferencias significativas en las concentraciones de los metales analizados entre organismos de la misma especie.

Tabla 6. Concentraciones de cobre y cadmio (mg/Kg con base a peso seco) en músculo e hígado de los atunes *K. pelamis* y *T. albacares* en tres zonas del Océano Pacífico Oriental.

Especie	Z	n	Peso (Kg)	Talla (cm)	Cu		Cd	
					Músculo	Hígado	Músculo	Hígado
<i>K. pelamis</i>	a	7	4.8±1.1 ^m	59.3±4.6	1.63±0.28 ^d	16.2±5.1	0.16±0.09	55.3±11.3 ^e
	b	13	2.97±1.2 ^m	52.9±5.6	3.55±1.7	23.9±12.6	0.2±0.3	29.3±13.5 ^e
	c	16	2.41±1.1 ⁱ	47.3±5.9	3.86±2.4 ^d	19.6±7.5	0.29±0.19	41.2±18
<i>T. albacares</i>	a	15	24.2±25.9 ^k	92.7±42.8	1.87±0.93	35.2±30.8 ^f	0.25±0.18	42.8±21.3 ^{gh}
	b	8	8.55±4.9	73.5±12.9	1.7±0.36	20±10.8	0.17±0.13	23.5±12.3 ^g
	c	21	8.31±5.9 ^k	70.6±20	2.58±2.2	12.2±8.4 ^f	0.13±0.13	19.5±15.5 ^h

Z = zona; n = número de individuos; Talla = longitud furcal; ^d p<0.05; ^e p<0.01; ^f p<0.01; ^g p<0.05; ^h p<0.001; ⁱ p<0.001; ^k p<0.05; ^m p<0.01.

De acuerdo a lo anterior, en la tabla 6 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en músculo e hígado de los atunes *K. pelamis* y *T. albacares* dividido en las tres zonas propuestas del Océano Pacífico Oriental. La secuencia de las concentraciones de los metales analizados por zonas fue variable, presentando un orden c>b>a para la concentración de cobre y cadmio en músculo del barrilete (*K. pelamis*), sólo existiendo diferencias significativas (p<0.05) en la concentración de cobre en músculo de la zona “a” contra la zona “c”; mientras que la secuencia en la concentración de cobre en hígado es b>c>a y la secuencia en la concentración de cadmio en hígado es a>c>b para la misma especie, existiendo diferencias significativas en la concentración de cadmio en hígado de la zona “a” contra la zona “b” (p<0.01) para la misma especie. La secuencia de peso en *K. pelamis* por zonas es a>b>c siendo inversa a la secuencia presentada en la concentración de cobre en músculo (c>b>a), demostrando que independientemente de la zona de estudio, esta especie en mayores tallas presenta menor concentración de cobre en el músculo.

En las zonas “a” y “c” se presentan surgencias, se sabe que en zonas de surgencias el cadmio se enriquece (Segovia-Zavala et al., 1998). Sin embargo, los datos arrojados en este estudio indican que la concentración de cadmio en músculo de los atunes de las diferentes zonas, no fueron significativamente diferentes. Las concentraciones de cadmio en hígado presentaron diferencias significativas sólo en la zona “a” contra las otras dos zonas en *T. albacares*, mientras que en *K. pelamis* sólo se presentó diferencias en la zona “a” contra la zona “b”. En ambas especies la zona “a” presentó las mayores concentraciones de cadmio. La surgencia de la zona “c” se encuentra entre las tres principales del Océano Pacífico Oriental (Gallegos y Barberán, 1998), por lo tanto las altas concentraciones de cadmio presentadas en la zona “a” pueden ser ocasionadas por otros factores.

En el atún aleta amarilla (*T. albacares*) la secuencia de concentración de cobre en músculo por zonas es $c > a > b$ y la secuencia en el resto de las concentraciones presentadas en la tabla 6 es $a > b > c$, sólo existían diferencias significativas en la concentración de cobre en hígado en la zona “a” contra la zona “c” ($p < 0.01$) y en la concentración de cadmio en hígado en la zona “a” contra la zona “b” ($p < 0.05$) y la zona “c” ($p < 0.001$).

En la tabla 6 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en músculo de los atunes *T. albacares* y *K. pelamis* provenientes de tres zonas del Océano Pacífico Oriental. En la zona “b” y “c” se presentaron las mayores concentraciones de ambos metales en *K. pelamis*, mientras que en la zona “c” se presentaron en *T. albacares*.

En la tabla 6 se presentan las concentraciones de cobre y cadmio en hígado de los atunes *T. albacares* y *K. pelamis* provenientes de tres zonas del Océano Pacífico Oriental. En las concentraciones de ambos metales en el hígado en casi todos los casos el *K. pelamis* presentó las mayores concentraciones, con la excepción de la concentración de cobre en la zona “a”.

Tabla 7. Concentraciones de cadmio y cobre (mg/kg con base a peso húmedo) en *T. albacares*, *K. pelamis* y atún enlatado de diversos sitios.

Especie	Sitio	n	Peso (Kg)	Talla (cm)	Cd	Cu	Referencia
<i>T. albacares</i>	Canal de Mozambique	24	21	107	0.06±0.05	0.24±0.06	Kojadinovic et al. (2007)
	Isla Reunion	17	25	88	0.06±0.05	0.52±0.39	Kojadinovic et al. (2007)
	Taiwan	-	-	-	0.02	0.26	Han et al. (1998)
	Océano Atlántico	13	-	145-96	0.004	0.297	Besada et al (2006)
	New Jersey*	50	-	-	0.03±0.005	-	Burger y Gochfeld (2005)
	(enlatado) Libia	12	-	-	0.18±0.08	-	Voegborlo et al.(1999)
	(enlatado) Golfo Persico	21	-	-	0.022±0.019	-	Emami Khansari et al (2005)
	(enlatado) Georgia y Alabama	29	-	-	0.0019	0.25	Ikem y Egiebor (2005)
	(enlatado) Arabia Saudita	17	-	-	0.22±0.18	1.02±0.49	Ashraf et al. (2006)
	Océano Pacifico Oriental	44	13.8	78.6	0.05±0.04	0.64±0.48	Este estudio
<i>K. pelamis</i>	Isla Reunion	37	9	68	0.18±0.11	0.29±0.26	Kojadinovic et al (2007)
	Japón	-	-	-	0.0175	0.609	Bassari (1994)
	Océano Pacifico Oriental	36	3.1	51.6	0.07±0.06	0.97±0.6	Este estudio

n = número de individuos; Talla = longitud furcal; * no se indica a que Océano corresponde.

El hígado en peces es el tejido recomendado por excelencia como indicador de contaminación del medio ambiente (Galindo et al., 1986; Harrison y Klaverkamp, 1990; WHO, 1993), ya que juega un papel muy importante en el almacenamiento de contaminantes, su redistribución y/o desintoxicación (Evans et al., 1993). En el hígado y el riñón se ha observado que alrededor del 80% del cadmio se encuentra enlazado a las metalotioneínas (Webb y Cain, 1982; Torra et al., 1994), estas proteínas actúan como quelantes para el cadmio y posteriormente lo depuran (Simoniello et al., 2009). Por lo anterior existen diversos estudios (Licata et al., 2005; Storelli et al., 2005; Kojadinovic et al., 2007) con la concentración de metales pesados en hígado y músculo (riesgo a la salud

humana). En la mayoría de estos estudios se menciona la proporción que existe entre el hígado y el músculo.

Tabla 8. Concentraciones de cadmio en músculo (mg/kg con base a peso húmedo) en atunes y otros peces depredadores tope.

Especie	mg Cd/ kg	Localización	Referencia
Marlin negro <i>Makaira indica</i>	0.9±0.01	Océano Pacífico	Mackay et al., 1975
Pez espada <i>Xiphias gladius</i>	0.25±0.26	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.19±0.14	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
	0.01±2	Mar Mediterraneo	Storelli et al., 2005
Barrilete <i>Katsuwonus pelamis</i>	0.18±0.11	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
	0.01	Japón	Bassari, 1994
	0.07±0.06	Océano Pacífico	este estudio
Atún aleta azul <i>Thunnus thynnus</i>	0.02±0.01	Mar de Arabia	Jaffar y Ashraf, 1988
	0.14±0.03	Mar Negro	Topcuo lu et al., 1990
	0.02±0.01	Mar Mediterraneo	Storelli et al., 2005
	0.03±0.07	Mar Mediterraneo	Licata et al., 2005
Atún aleta amarilla <i>Thunnus albacares</i>	0.06±0.05	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.06±0.05	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
	0.02	Taiwan	Han et al., 1998
	0.03±0.01	New Jersey	Burger y Gochfeld, 2005
	0.004	Océano Atlántico	Besada et al., 2006
Marlin azul <i>Makaira mazara</i>	0.05±0.04	Océano Pacífico	este estudio
	0.04	Taiwan	Han et al., 1998
Dorado <i>Coryphaena hippurus</i>	0.02±0.04	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.03±0.04	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007

La proporción hígado/músculo fue mayor en dos órdenes de magnitud en el cadmio en comparación con el cobre en ambas especies, siendo en el atún aleta amarilla 156.4 de cadmio contra 9.85 de cobre y para el barrilete 172.3 de cadmio contra 6.19 de cobre, entonces el barrilete obtuvo la mayor proporción para el

cadmio y para el cobre fue el atún aleta amarilla. Esta alta proporción de cadmio, demuestra la capacidad de almacenar en el hígado altas concentraciones de ese metal en comparación con el músculo en estos atunes, pues son organismos que se encuentra muy cercanos al nivel tope de la cadena trófica, por lo tanto desarrollan una adaptación que regula las altas concentraciones de cadmio sin un daño aparente en estas especies. En el estudio de Storelli et al. (2005) se demuestra lo anterior, pues en sus conclusiones aceptan que en los elementos (Hg, Cd, Pb y As) analizados, la proporción entre hígado y músculo era un aproximado al doble en todos los metales a excepción del cadmio, pues ésta aumentaba significativamente en un orden mayor. Asimismo, en el oeste del Océano Índico Kojadinovic et al. (2007) analizaron metales pesados en peces pelágicos, encontrando una alta proporción de cadmio entre la concentración del hígado y la del músculo en las cuatro especies analizadas.

En la tabla 7 se muestran estudios de metales pesados (cadmio y cobre) que fueron realizados en atún enlatado, atún aleta amarilla y barrilete en ciertas zonas el mundo. El atún enlatado, en diversas ocasiones no muestra a que especie pertenece o es mencionado como atún aleta amarilla, sin embargo los datos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) muestran que las toneladas extraídas de atún aleta amarilla y de barrilete representan un 80% del total de las capturas. Adicionalmente el barrilete fue la especie con mayores capturas en el 2007 y 2008, por lo tanto es muy probable que gran parte de la composición de atún enlatado corresponda a *K. pelamis*. Por ello se toma al atún enlatado como una mezcla de ambos organismos. Las mayores concentraciones de cadmio y cobre se encontraron en el estudio realizado en Arabia Saudita (Ashraf et al., 2006) y las menores en un estudio de Georgia y Alabama (Ikem y Egiebor, 2005). Las mayores concentraciones de cadmio en músculo de atún aleta amarilla (*T. albacares*) se presentaron en el canal de Mozambique y la Isla Reunion (Kojadinovic et al., 2007), y las concentraciones menores de cadmio se presentan en Taiwan (Han et al., 1998). Sin embargo, las concentraciones menores de cobre en músculo se encuentran en el estudio del canal de

Mozambique (Kojadinovic et al., 2007) y las concentraciones mayores se presentan en nuestro estudio. En el caso del barrilete, el orden de concentración de cadmio por sitio fue Isla Reunion>Océano Pacífico Oriental>Japón y el orden de cobre fue Océano Pacífico Oriental>Japón>Isla Reunion.

Tabla 9. Concentraciones de cobre en músculo (mg/Kg con base a peso húmedo) en atunes y otros peces depredadores tope.

Especie	mg Cu/ kg	Localización	Referencia
Atún aleta azul <i>Thunnus thynnus</i>	0.12±0.01	Mar de Arabia	Jaffar y Ashraf, 1988
	3.69±3.21	Mar Negro	Topcuo lu et al., 1990
	1.15±1.25	Mar Mediterraneo	Licata et al., 2005
Barrilete <i>Katsuwonus pelamis</i>	0.29±0.26	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
	0.609	Japón	Bassari, 1994
	0.97±0.6	Océano Pacífico	este estudio
Atún aleta amarilla <i>Thunnus albacares</i>	0.24±0.06	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.52±0.39	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
	0.26	Taiwan	Han et al., 1998
	0.297	Océano Atlántico	Besada et al., 2006
	0.64±0.48	Océano Pacífico	este estudio
Marlin azul <i>Makaira mazara</i>	0.32	Taiwan	Han et al., 1998
Dorado <i>Coryphaena hippurus</i>	0.14±0.04	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.22±0.15	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
Pez espada <i>Xiphias gladius</i>	0.15±0.08	Canal de Mozambique	Kojadinovic et al., 2007
	0.2±0.14	Isla Reunion	Kojadinovic et al., 2007
Marlin negro <i>Makaira indica</i>	0.4±0.03	Océano Pacífico	Mackay et al., 1975

En la tabla 8 se presentan los intervalos de las concentraciones de cadmio en diferentes depredadores; de acuerdo a la concentración máxima encontrada en cada especie, se presentó la siguiente secuencia: marlin negro>pez espada>barrilete>atún aleta azul>atún aleta amarilla>marlin azul>dorado.

En la tabla 9 se presentan los intervalos de concentraciones de cobre en diferentes depredadores, con base al valor máximo reportado en cada estudio, se presentó el siguiente orden descendente: atún aleta azul>barriete>atún aleta amarilla>marlin azul>dorado>pez espada>marlin negro.

En ambas tablas (8 y 9) se puede observar que el barrilete se encuentra entre los principales depredadores con mayor concentración de cadmio y cobre en músculo, por ello se recomienda realizar monitoreo de metales pesados, principalmente en la concentración de cadmio, por ser un metal sin función metabólica que actúa como un contaminante; además, como se mencionó anteriormente es el organismo con las mayores capturas en los últimos dos años.

7.2 Relación de las concentraciones de cobre y cadmio con el peso y la talla de los atunes estudiados

Con la finalidad de conocer el grado en que dos variables cambiaron conjuntamente, se realizó un análisis de correlaciones entre las concentraciones de los metales analizados en determinado tejido con la talla y el peso de los organismos. En el caso de correlaciones directamente proporcionales, se trata de variables que aumentan de manera conjunta; si la correlación es inversamente proporcional, una de las variables aumentará mientras que la otra variable mostrará una disminución.

En la tabla 10 se muestran las correlaciones realizadas en *T. albacares*. Se puede observar que hubo correlaciones significativas. Al comparar las concentraciones de ambos metales en el músculo y el hígado con la talla y el peso en el atún aleta amarilla (*T. albacares*) se observó que los valores más altos de r^2 se presentaron con la talla, es decir hay una relación más directa de la talla con la concentración del metal en el tejido. En algunos organismos de esta especie (>50 kg) no se pudo obtener el peso, debido a que no se contaba con la báscula de

capacidad adecuada a usar y por lo tanto, esos pesos fueron estimados mediante fórmulas propuestas (Tantivala, 2000), dando solo una aproximación.

Tabla 10. Correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu en el músculo y el hígado del *T. albacares* con la talla y el peso; correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu entre los tejidos estudiados.

Especie	Comparación	n	r ²	valor-p
<i>Thunnus albacares</i>	M:Cu – talla	44	0.1869	0.001<p<0.01
	M:Cu – peso		0.1257	0.01<p<0.02
	M:Cd – talla		0.0554	>0.1*
	M:Cd – peso		0.0374	>0.1*
	H:Cu – talla		0.1098	0.02<p<0.05
	H:Cu – peso		0.1314	0.02<p<0.05
	H:Cd – talla		0.0034	>0.1*
	H:Cd – peso		0.0003	>0.1*
	M:Cu – M:Cd		0.0264	>0.1*
	M:Cu - H:Cu		0.0203	>0.1*
	M:Cu - H:Cd		0.0069	>0.1*
	M:Cd - H:Cd		0.0604	0.05<p<0.1*
	M:Cd - H:Cu		0.0119	>0.1*
	H:Cu - H:Cd		0.3629	<0.001

M = músculo; H = hígado; n = numero de individuos; talla = longitud furcal; * no fueron significativos.

En la tabla 11 se presentan las comparaciones realizadas en *K. pelamis*. En esta tabla se observa que en *K. pelamis* las correlaciones con valores de r² más próximas a 1 se dieron con el peso de los organismos. De las correlaciones anteriores, sólo se discutieron las que fueron significativas. Las correlaciones de peso o talla con la concentración de cobre en músculo fueron negativas en ambas especies. En un estudio en truchas (De Boeck et al., 2003) se observó que en algunos organismos la exposición al cobre induce las síntesis de metalotioneínas en diversos órganos, de ello se puede decir que en estos atunes es muy probable que el cobre, al ser un elemento esencial, pueda regularse. Existe una correlación positiva entre la talla y la concentración de cobre en el hígado del *T. albacares*, concordando lo anteriormente dicho, pues cuando el organismo va aumentando de talla, va disminuyendo la concentración de cobre en músculo, mientras en el hígado va aumentando.

Tabla 11. Correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu en el músculo y el hígado del *K. pelamis* con la talla y el peso; correlaciones de las concentraciones de Cd y Cu entre los tejidos estudiados.

Especie	Comparación	n	r²	valor-p
<i>Katsuwonus pelamis</i>	M:Cu – talla	36	0.4783	<0.001
	M:Cu – peso		0.4811	<0.001
	M:Cd – talla		0.0062	>0.1*
	M:Cd – peso		0.0131	>0.1*
	H:Cu – talla		0.0215	>0.1*
	H:Cu – peso		0.0454	>0.1*
	H:Cd – talla		0.016	>0.1*
	H:Cd – peso		0.0571	>0.1*
	M:Cu – M:Cd		0.0736	0.05<p<0.1*
	M:Cu – H:Cu		0.0031	>0.1*
	M:Cu – H:Cd		0.0331	>0.1*
	M:Cd – H:Cd		0.0105	>0.1*
	M:Cd – H:Cu		0.0039	>0.1*
	H:Cu – H:Cd		0.0029	>0.1*

M = músculo; H = hígado; n = número de individuos; talla = longitud furcal; * no fueron significativos.

Existe una correlación positiva entre la concentración de cobre y la concentración de cadmio en el hígado del *T. albacares*, este órgano realiza una función de desintoxicación. El cadmio y el cobre son regulados en los peces (Phillips y Rainbow, 1989), el cobre es absorbido en menor grado por los peces en comparación con el cadmio. En el *K. pelamis* no se observa una correlación significativa, sin embargo este organismo presenta concentraciones de cadmio en hígado mayores al *T. albacares*.

7.3 Transferencia trófica de cobre y cadmio

Se encontró un aproximado de 15 componentes alimentarios distintos, los cuales se agruparon en peces, crustáceos y moluscos. Se examinaron los contenidos de 80 estómagos, de los cuales 36 correspondieron a barriletes y 44 a los atunes aleta amarilla. El 62.5% de los estómagos se encontraron vacíos, por lo que los resultados se basan en el análisis de 30 estómagos que contenían uno o

varios componentes. De los 30 estómagos sólo 4 fueron del barrilete cuyo contenido estaba constituido por crustáceos.

La transferencia trófica se puede calcular mediante la fórmula propuesta por Szefer (1998), donde se utiliza el factor de transferencia (TF por sus siglas en Inglés):

$$TF = C_c/C_p,$$

donde C_c es la concentración del metal en el depredador (consumidor) y C_p es la concentración del mismo metal en la presa (dieta).

De acuerdo a lo anterior, la transferencia trófica de cadmio y cobre del contenido estomacal al músculo e hígado del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) se presentan en la tabla 12. En ambas especies fue mayor el factor de transferencia de cobre que el del cadmio (aproximadamente 10 veces) entre el contenido estomacal y el músculo. Con respecto al factor de transferencia (del contenido estomacal) al hígado, fue mayor el cadmio que el cobre (aproximadamente el doble) en ambas especies. En ambos metales el factor de transferencia al músculo es menor a 1 y esto indica que las presas de los atunes tienen concentración mayor que estos y que existe una biodilución, concordando con lo encontrado en un previo estudio (Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna, 2008) de distribución trófica en el Golfo de California, que demostró que la mayoría de los factores de transferencia de cadmio eran menores a 1 en los niveles elevados de la cadena trófica. El factor de transferencia (del contenido estomacal) al músculo se realizó por ser el tejido más abundante y de interés para consumo humano. Por otro lado se utiliza el factor de transferencia (del contenido estomacal) al hígado, por ser un órgano directamente involucrado en la transformación y eliminación de sustancias, dando como resultado un factor de transferencia mayor o aproximado a 1 en todos los casos. Todo lo anterior indica que ambas especies tienen una gran capacidad para regular estos metales.

Tabla 12. Factor de transferencia (TF por sus siglas en Inglés) de cadmio y cobre entre el contenido estomacal y el músculo e hígado de cadmio y cobre en los atunes *T. albacares* y *K. pelamis* provenientes del Océano Pacífico Oriental.

Especie	n	Músculo		Hígado	
		TF Cd	TF Cu	TF Cd	TF Cu
<i>K. pelamis</i>	4	0.0137 ±0.0072	0.146 ±0.106	2.36 ±1.24	0.905 ±0.656
<i>T. albacares</i>	26	0.0351 ±0.042	0.255 ±0.171	5.49 ±6.56	2.51 ±1.69

n = número de estómagos; TF = factor de transferencia.

En el anexo 4 se muestra el factor de transferencia de cada contenido estomacal de ambas especies. En ningún caso se supera el valor de 1 en el factor de transferencia (del contenido estomacal) al músculo.

En la tabla 12 se presentan los factores de transferencia (del contenido estomacal) al músculo e hígado de cadmio y cobre de los atunes estudiados. En todos los casos *T. albacares* obtuvo mayor factor de transferencia, indicando que *K. pelamis* regula mejor ambos metales, a pesar de que este organismo presentó en casi todas las porciones (músculo, hígado y contenido estomacal) las mayores concentraciones de ambos metales.

Tabla 13. Factores de transferencia (TF por sus siglas en Inglés) de cadmio y cobre entre el contenido estomacal (moluscos, crustáceos y peses) y el músculo e hígado de *T. albacares*.

Grupo	n	mg Cd/Kg	mg Cu/Kg	Músculo		Hígado	
				TF Cd	TF Cu	TF Cd	TF Cu
Moluscos	5	17.4 ±9.5	23 ±14	0.0153 ±0.0128	0.16 ±0.14	2.39 ±2	1.57 ±1.38
Crustáceos	12	12.8 ±8.4	14.3 ±6.2	0.0366 ±0.062	0.178 ±0.071	5.72 ±9.7	1.75 ±0.7
Peces	14	8.31 ±10.5	8.11 ±4.49	0.041 ±0.024	0.354 ±0.19	6.41 ±3.7	3.5 ±1.9

n = número de componentes alimentarios; TF = factor de transferencia.

Los componentes alimentarios del *T. albacares* fueron agrupados en moluscos (cefalópodos), crustáceos y peces, coincidiendo con lo descrito para esta misma especie del mismo Océano por otros estudios (Watanabe, 1958; Alverson, 1963; Galván-Magaña, 1988; Galván-Magaña, 1999; Román-Reyes et al., 1990; Román-Reyes, 2005; Alatorre-Ramírez, 2007). Es pertinente mencionar que dado el grado de descomposición de los componentes del estómago, la identificación fue posible en algunos casos a nivel de especie, mientras que en otros casos solo fue posible identificar el género o la familia.

En diversos estudios (Ruelas-Inzunza et al., 2003; 2009) se ha establecido que la dieta constituye la principal vía de incorporación de metales pesados a los organismos acuáticos. Con la finalidad de conocer la contribución relativa de cada grupo de organismos que componen la dieta de *T. albacares*. En la tabla 13 se presentan los principales grupos de organismos del contenido estomacal con sus respectivas concentraciones y los factores de transferencia de ambos metales (del contenido estomacal) al músculo e hígado del *T. albacares*. La concentración de cobre fue mayor en los moluscos y los crustáceos, en los peces la media de ambos metales fue muy similar. El factor de transferencia de cobre (del contenido estomacal) al músculo fue mayor al del cadmio en los tres grupos; en caso de la transferencia hacia el hígado, el comportamiento fue inverso (cadmio mayor en los tres grupos). En todos los casos los mayores factores de transferencia se presentaron del contenido estomacal al hígado.

Anteriormente se mencionó que las mayores concentraciones de ambos metales en el contenido estomacal (crustáceos) se presentaron en *K. pelamis*, por lo que se comparan las concentraciones totales de ambos metales solamente con el grupo de los crustáceos de *T. albacares*. Las mayores concentraciones de cadmio y cobre se presentaron en las presas de *K. pelamis* (en comparación con crustáceos, moluscos y peces del *T. albacares*). Lo anterior indica que *K. pelamis* consume organismos (crustáceos) con mayores concentraciones de ambos metales que *T. albacares*, lo cual se refleja en mayores concentraciones de ambos

metales en las tres fracciones analizadas (músculo, hígado y contenido estomacal) en *K. pelamis*.

En la tabla 13 se presentan las concentraciones de cadmio y cobre en moluscos, crustáceos y peces del *T. albacares* proveniente del Océano Pacífico Oriental. El orden de mayor a menor en concentración de cadmio y cobre fue moluscos>crustáceos>peces.

En la tabla 13 se presenta el factor de transferencia (del contenido estomacal) al músculo e hígado de cadmio y cobre en moluscos, crustáceos y peces del contenido estomacal de los *T. albacares* provenientes del Océano Pacífico Oriental. Se observa que la secuencia de mayor a menor fue peces>crustáceos>moluscos, siendo inversa a la secuencia de la concentración.

7.4 Comparación de las concentraciones de cobre y cadmio en los atunes estudiados con la legislación ambiental vigente

Las enfermedades transmitidas por los alimentos, en su mayoría son de tipo infeccioso, aunque también de origen químico como las intoxicaciones. La incidencia de estas enfermedades, sigue constituyendo uno de los problemas de salud pública más extendidos en el mundo contemporáneo y permanecen como una de las causas principales de morbilidad (NOM-027-SSA1-1993). Es importante analizar las especificaciones sanitarias propuestas en los alimentos para promover el consumo de los mismos y a la vez proteger la salud del consumidor. Por ello, en este estudio se utilizó la legislación de México (NOM-027-SSA1-1993), Australia (Nauen, 1983) y de la Comisión Europea (CE, 2005), las cuales muestran diferencias en los límites máximos permisibles de los metales de estudio, estas diferencias probablemente resultan del diferente conocimiento en los países acerca de esta problemática, la presión de la sociedad y los grupos ambientalistas, además de las características geológicas de cada cuenca.

En la tabla 14, se encuentran las concentraciones de cobre y cadmio en músculo de atún aleta amarilla y barrilete y los límites máximos permisibles. En esta tabla se puede observar como la legislación es más estricta en la Comisión Europea en referencia al cadmio, siendo México>Australia>Comisión Europea en el límite del cadmio (0.5>0.2>0.1 µg/g peso húmedo). Las concentraciones de Cd no estuvieron por encima de los límites máximos permisibles de la legislación mexicana, alcanzando un 10.53% del valor límite para el atún aleta amarilla (*T. albacares*) y un 13.45% para el barrilete (*K. pelamis*). De las tres legislaciones consideradas, sólo la legislación Australiana regula la concentración de cobre en pescados frescos, en este caso los niveles de los organismos representan apenas un 6.39% del valor de este límite para el atún aleta amarilla (*T. albacares*) y un 9.7% para el barrilete (*K. pelamis*). Para el cadmio en la legislación Australiana sólo una muestra sobrepasó el límite.

Tabla 14. Comparación de las concentraciones de cobre y cadmio en músculo del atún aleta amarilla (*T. albacares*) y del barrilete (*K. pelamis*) encontradas en este estudio respecto a tres diferentes legislaciones (µg/g con base a peso húmedo).

Especie	n	Metal	Concentración media ± de	Intervalo de concentración	Límite Máximo Permissible		
					México	Australia	CE*
<i>T. albacares</i>	44	Cu	0.64±0.48	3.28 - 0.21	NA	10	NA
<i>K. pelamis</i>	36		0.97±0.6	3.33 - 0.36	NA		NA
<i>T. albacares</i>	44	Cd	0.05±0.04	0.18 - 0.01	0.5	0.2	0.1
<i>K. pelamis</i>	36		0.07±0.06	0.33 - 0.01			

n = número de individuos; NA = no aplica; de = desviación estándar; CE* = Comisión Europea.

En la tabla 15, se muestra el porcentaje de muestras que sobrepasaron los límites máximos permisibles. El barrilete fue el organismo que sobrepasó en mayor porcentaje los límites de cadmio, representando un 22.2% del valor del límite de la Comisión Europea y un 13.6% para el atún aleta amarilla para el mismo caso. En el estudio del Océano Indico (Kojadinovic et al., 2007) el límite de la Comisión Europea se excedía en 18% para el atún aleta amarilla y un 81% para el barrilete provenientes de la Isla Reunion, mientras que en los atunes aleta

amarilla encontrados en el canal de Mozambique ninguno sobrepasó este límite, de esto se puede deducir que la Isla Reunion esta más impactada por cadmio que el Océano Pacífico Oriental y que el canal de Mozambique contiene menores concentraciones de cadmio.

La comparación de los límites no se puede enfocar sólo al músculo, pues los pescadores de los barcos atuneros consumen frecuentemente el hígado. Al comparar el nivel promedio de cadmio en el hígado del atún aleta amarilla con el límite mexicano, esta concentración sobrepasa por poco más de 16 veces al límite, en el caso del barrilete el límite mexicano es sobrepasado 23 veces, esta información debe de considerarse para los efectos de estos contaminantes, muy probablemente existan diversas consecuencias renales en los pescadores, pues estos consumen frecuentemente el hígado y con estas concentraciones es muy probable que se presenten algunos efectos del cadmio. Las concentraciones de cobre encontradas en el hígado de ambos organismos, no sobrepasan el límite de la legislación Australiana.

Tabla 15. Porcentaje de muestras que sobrepasaron los límites máximos permisibles.

Especie	Metal	Concentración media \pm de	% de muestras que sobrepasan el límite		
			México	Australia	CE
<i>T. albacares</i>	Cu	0.64 \pm 0.48	NA	0	NA
<i>K. pelamis</i>		0.97 \pm 0.6	NA	0	NA
<i>T. albacares</i>	Cd	0.05 \pm 0.04	0	0	13.6
<i>K. pelamis</i>		0.07 \pm 0.06	0	2.78	22.2

NA = no aplica; de = desviación estándar; CE* = Comisión Europea.

La Organización Mundial de la Salud (2003) establece un límite para ingesta máxima de 7 μ g de cadmio por kg de peso corporal por semana. Para una persona de un peso de 70 kg, correspondería una ingesta de 490 μ g de cadmio por semana. Para llegar a este límite una persona necesita consumir 7 kg de músculo de barrilete por semana y para el atún aleta amarilla se necesita consumir 9.8 kg por semana. El consumo del hígado presenta un dato relevante, una

persona de 70 Kg. necesita consumir 59.4 g de hígado de atún aleta amarilla por semana para llegar al límite del cadmio y para el barrilete 42.2 g por semana.

La ingesta máxima de cobre recomendada es de 900 µg por adulto por día (NAS, 2001). Una persona de 70 kg necesita consumir 29 kg de músculo de atún aleta amarilla por semana y para el barrilete 19 kg por semana. Para el hígado del atún aleta amarilla se necesita consumir 2.9 kg por semana y para el barrilete 3 kg por semana.

De acuerdo a la información anterior y considerando los organismos con las concentraciones más elevadas, la menor ingesta por semana calculada para una persona promedio (70 kg) fue 7 kg de músculo del barrilete, con lo cual se alcanzará la ingesta semanal permitida por la OMS. En México el consumo per-cápita de atún es de 1.3 kg por año (AEAP, 2006). Por lo tanto no existe ningún riesgo en el consumo de estas especies ante la legislación mexicana, pues el consumo per-cápita en México por año no se aproxima ni a la ingesta máxima por semana de cualquiera de los metales estudiados.

8. CONCLUSIONES

1. En el atún aleta amarilla *T. albacares* la secuencia de las concentraciones promedio de cadmio y cobre fue hígado>contenido estomacal>músculo.
2. En el barrilete *K. pelamis* la secuencia de las concentraciones promedio de cadmio fue hígado>contenido estomacal>músculo y para el cobre fue contenido estomacal>hígado>músculo.
3. Considerando la totalidad del estudio, el barrilete *K. pelamis* presentó mayores concentraciones de cadmio y cobre en músculo y contenido estomacal en comparación con el atún aleta amarilla *T. albacares*.
4. En ambas especies de atunes, los juveniles presentaron concentraciones significativamente mayores de cobre en músculo que en los adultos. En el atún aleta amarilla *T. albacares* los adultos presentaron concentraciones significativamente más elevadas de cobre en hígado que los juveniles.
5. Para ambas especies de atunes, los organismos de la zona “a” presentaron niveles de cadmio significativamente más elevados de cadmio en hígado. Con respecto a las concentraciones de cobre, el barrilete *K. pelamis* de la zona “c” presentó niveles significativamente mayores en el músculo que los organismos de la zona “a”. En el atún aleta amarilla *T. albacares* de la zona “a” los niveles de cobre en el hígado fueron significativamente más elevados que en la zona “c”.
6. Las concentraciones de cadmio y cobre encontradas en este estudio fueron comparables a las informadas en las mismas especies recolectadas en el Canal de Mozambique, Isla Reunion, Japón, Taiwan, New Jersey y Océano Atlántico, con excepción de la concentración de cobre en músculo del

barrilete *K. pelamis*, cuya concentración fue mayor al intervalo reportado en esos trabajos.

7. Se obtuvo una correlación negativa significativa entre la concentración de cobre en músculo contra la talla y/o peso de ambas especies. Asimismo, se presentó una correlación positiva significativa entre la concentración de cobre en hígado con la talla del atún aleta amarilla *T. albacares*.
8. El factor de transferencia (del contenido estomacal) al músculo de ambos metales en ambas especies fue menor a 1. El factor de transferencia (del contenido estomacal) al hígado fue mayor a 1 en 61 de 70 casos. En el contenido estomacal del atún aleta amarilla *T. albacares*, la secuencia de concentración para ambos metales fue moluscos > crustáceos > peces.
9. Las concentraciones de cadmio en el músculo de ambas especies de atunes se encontraron muy por debajo del límite máximo permisible de la legislación mexicana. Las concentraciones de cobre en el músculo de ambas especies se encontraron muy por debajo del límite máximo permisible de la legislación australiana. Una muestra de barrilete *K. pelamis* sobrepasó los límites de cadmio de esta última legislación.
10. Los límites de cadmio (0.1 mg/kg peso húmedo) de la legislación europea fueron sobrepasados en un 13.64% de las muestras en el tejido muscular de atún aleta amarilla *T. albacares* y en un 22.22% en el tejido muscular del barrilete *K. pelamis*.
11. De acuerdo al consumo per-cápita anual de atún en México y considerando las concentraciones más elevadas de cadmio y cobre en el tejido muscular obtenidas en este estudio, no existe ningún riesgo a la salud humana por el consumo de estos atunes, respecto a estos dos metales analizados.

9. LITERATURA CITADA

- Abel P. D. 1989. Water Pollution Biology. Ellis Horwood, Chichester. UK: 231.
- AEAP. 2006. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca: 1-219.
- Alatorre Ramírez V. G. 2007. Hábitos alimenticios del atún aleta amarilla *T. albacares* y barrilete *K. pelamos* en cardúmenes mixtos del Océano Pacífico Oriental Tropical. Tesis de Maestría. IPN 1-86.
- Albaret J. J. 1977. La reproduction de l'albacora (*Thunnus albacares*) dans le Golfe de Guinee. Cahiers ORSTOM Série Océanographie 15 (4): 389-419.
- Aloj Totaro E. F., Pisonti A., Gless P. & Contillo A. 1986. The effect of copper pollution in mitochondrial degeneration. Marine Environmental Research 18: 245-253.
- Alverson F. 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin 7 (5): 295-396.
- Ashraf W., Seddigi Z., Abulkibash A. & Khalid M. 2006. Levels of selected metals in canned fish consumed in Kingdom of Saudi Arabia. Environmental Monitoring and Assessment 117: 271-279.
- Balkas I.T., Tugrul S. & Salihoglu I. 1982. Trace metal levels in fish and crustacea from Northeastern Mediterranean coastal waters. Marine Environmental Research 6: 281-289.
- Bassari A. 1994. A study on the trace element concentrations of *Thunnus thyunnus*, *Thunnus obesus* and *Katsuwonus pelamis* by means of ICP-AES. Toxicological and Environmental Chemistry 44: 123-127.
- Blackburn M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. Oceanography and Marine Biology. An Annual Review 3: 299-322.
- Besada V., González J. J. & Schultze F. 2006. Concentraciones de mercurio, cadmio, plomo, arsénico, cobre y zinc en atún blanco, rabil y patudo procedentes del Océano Atlántico. Ciencias Marinas 32 (2B): 439-445.

- Burger J. & Gochfeld M. 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research* 99: 403-412.
- CCFAC. 2001. Codex Committee on Food Additives and Contaminants. Comments submitted on draft maximum levels for lead and cadmium. Agenda 16c/16d, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Thirty-third Session, The Hague, The Netherlands, 12-16 March 2001.
- CIAT. 2009. Informes mensuales previos. Captura estimada por buques de cerco y cañeros en el Océano Pacífico Oriental. Nombre del archivo. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Diciembre-2008. <http://www.iattc.or/>
- Cid B.P., Boia C., Pombo L. & Rebelo E. 2001. Determination of trace metals in fish species of the Ria de Aveiro (Portugal) by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* 75: 93-100.
- Collette B.B. & C.E. Nauen. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos, and related species known to date. *FAO Fisheries Synopsis* 125 (2): 137.
- Comisión Europea (CE). 2005. Reglamento (CE) No. 78/2005 de la Comisión de 19 de enero de 2005 por el que se modifica el Reglamento (CE) No. 466/2001 en lo referente a metales pesados. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L(016): 43-45.
- Compeán-Jiménez, G. 1985. Atlas pesquero de atún. Instituto Nacional de Pesca. Secretaría de Pesca: 78.
- De Boeck G., Huong Ngo T. T., Van Campenhout K. & Blust R. Differential metallothionein induction patterns in three freshwater fish during sublethal copper exposure. *Aquatic Toxicology* 65: 413-424.
- Emami Khansari F., Ghazi Khansari M. & Abdollahi M. 2005. Heavy metals content of canned tuna fish. *Food Chemistry* 93: 293-296.
- Enomoto N. & Uchida, Y. 1973. Cadmium and other heavy metal contents in marine products from the Ariake Sea and in canned goods on the market. *Saga Daigaku Nogaku Iho* 35: 69-75.

- Evans D. W., Doo, D. K. D. & Hanson, P. 1993. Trace element concentration in fish livers: implication of variations with fish size in pollution monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 26 (6): 329-354.
- FAO. 1983. Food and Agriculture Organization. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, FAO Fishery Circular 464: 5-100.
- FAO/WHO. 1972. Food and Agriculture/World Health Organisation. Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, cadmium and lead. WHO Technical Report Series 505. Génova.
- Fischer W., Krupp F., Schneider W., Sommer C., Carpenter K.E. & Niem, V.H. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Vertebrados. Roma, FAO. Vol I,II y III: 1-1813.
- Frías-Espericueta M. G., Castro-Longoria R., Barrón-Gallardo G. J., Osuna-López J. I., Abad-Rosales S. M., Páez-Osuna F. & Voltolina D. 2008. Histological changes and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles with different copper concentrations. *Aquaculture* 278: 97-100.
- Galindo L. Hardisson A. & Montelongo F. G. 1986. Correlation between lead, cadmium, copper, zinc and iron concentrations in frozen tuna fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 36: 595-599.
- Gallegos García A. & Barberán Falcón J. 1998. Surgencia eólica. En: Tapia García M. El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Capítulo 3: 27-34.
- Galván-Magaña F. 1988. Composición y análisis de la dieta del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico mexicano durante 1984-1985. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 86.
- Galván-Magaña F. 1999. Relaciones tróficas interespecíficas de la comunidad de depredadores epipelágicos del Océano Pacífico Oriental. Tesis Doctoral. CICESE. 212.

- Giordano R., Arata P., Ciaralli L., Rinaldi S., Giani M., Cicero A. M. & Costantini S. 1991. Heavy metals in mussels and fish from Italian coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* 22: 10-14.
- Han B. C., Jeng W. L., Chen R. Y., Fang G. T., Hung T. C. & Tseng R. J. 1998. Estimation of Target Hazard Quotients and Potential Health Risks for Metals by Consumption of Seafood in Taiwan. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 35: 711-720.
- Harris E.D. 1991. Copper transport: an overview. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 192: 130-140.
- Harrison S. E. & Klaverkamp, J. F. 1990. Metal contamination in liver and muscle of northern pike (*Esox lucius*) and white sucker (*Castomus commersoni*) and in sediments from lake near smelter at Flin Flon, Manitoba. *Environmental Toxicology and Chemistry* 9: 941-956.
- Hellawell J. M. 1989. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science, London: 546.
- Ikem A. & Egiebor N. O. 2005. Assessment of trace elements in Canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 771-787.
- Jaffar M. & Ashraf M. 1988. Selected trace metal concentrations in different tissues of fish from coastal waters of Pakistan (Arabian Sea). *Indian Journal of Marine Sciences* 17: 231-234.
- Kennish M. J. 2001. *Marine Science*. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, FL: 876.
- Kojadinovic J., Ménard F., Bustamante P., Cosson R. P. & Le Corre M. 2008. Trophic ecology of marine birds and pelagic fishes from Reunion Island as determined by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series* 361: 239-251.
- Kojadinovic J., Potier M., Le Corre M., Cosson R. P. & Bustamante P. 2007. Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environmental Pollution* 146: 548-566.

- Licata P., Trombetta D., Cristani M., Naccari C., Martino D., Caló M. & Naccari F. 2005. Heavy metals in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the straits of messina (Sicily, Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 107: 239-248.
- Mackay D. & Fraser A. 2000. Bioaccumulation of persistent organic chemicals. Mechanisms and models. *Environmental Pollution* 110: 375-391.
- Mackay N. J., Kazacos M. N., Williams R. J. & Leedow M. I. 1975. Selenium and heavy metals in Black Marlin. *Marine Pollution Bulletin* 6 (4): 57-61.
- MAFF. 1995. Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1993. *Aquatic Environment Monitoring Report No. 44*. Directorate of Fisheries Research, Lowestoft.
- MESL. 1997. Marine Environmental Studies Laboratory. International Atomic Energy Agency. Inorganic Laboratory, Standard Operating Procedures. Monaco: 66.
- Miyake M. 1990. Manual de operaciones para las estadísticas y el muestreo de túnidos y especies afines en el océano Atlántico. 3ª. Edición. CICAA. Madrid: 188.
- Moody J. R. & Lindstrom R. N. 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. *Analytical Chemistry* 49: 2264-2267.
- Nauen C. E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fisheries Circular* 764: 102.
- Norma Oficial Mexicana 027-SSA1-1993, Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- Obbard J. P. 2001. Ecotoxicology assessment of heavy metals in sewage sludge ammended soils. *Applied Geochemistry* 16: 1405-1411.
- Phillips D. J. H. & Rainbow P. S. 1989. Strategies of trace metal sequestration in aquatic organisms. *Marine Environmental Research* 49: 83-93.
- Phillips D. J. H. & Rainbow P. S. 1993. *Biomonitoring of trace aquatic contaminants*. Elsevier Science Publishers LTD. London: 371.

- Rainbow P. S. 1993. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates, in *Ecotoxicology of Metals Invertebrates*, Dallinger R. & Rainbow P. S. Eds. Lewis Publishers. Ann Arbor. MI 3.
- Román Reyes J. C., Santos S. & Valdez Ochoa M. 1990 Román Reyes J. C., Santos S. & Valdez Ochoa M. 1990. Análisis del contenido estomacal y gónada de *Thunnus albacares* (Atún Aleta Amarilla) en el Océano Pacífico Oriental Tropical (ciclo 1988-1989). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México.
- Román Reyes J. C. 2005. Análisis del contenido estomacal y la razón de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), delfín manchado (*Stenella attenuata*) y delfín tornillo (*Stenella longirostris*) del Océano Pacífico Oriental. Tesis de Doctorado. IPN. 1-143.
- Ruelas Inzunza J. R., Horvat M., Pérez Cortés H. & Páez Osuna F. 2003. Distribución de metilmercurio y mercurio en tejidos de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) y delfines tornillo (*Stenella longirostris*) varados en el bajo Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 29 (1): 1-8.
- Ruelas Inzunza J. & Páez Osuna F. 2007. Essential and toxic metals in nine fish species for human consumption from two coastal lagoons in the Eastern Gulf of California. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 42 (10): 1411-1416.
- Ruelas Inzunza J. & Páez Osuna F. 2008. Trophic Distribution of Cd, Pb, and Zn in a Food Web from Altata-Ensenada del Pabellón Subtropical Lagoon, SE Gulf of California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 584-596.
- Ruelas Inzunza J., Páez Osuna F. & García Flores. 2009. Essential (Cu) and nonessential (Cd and Pb) metals in ichthyofauna from the coasts of Sinaloa state (SE Gulf of California). *Environmental Monitoring and Assessment* Published online: 27 February 2009.
- Schmitt C. J. & Brumbaugh W. G. 1990. National contaminant biomonitoring program: Concentrations of arsenic, cadmium, copper, lead, mercury,

- selenium, and zinc in U.S. Freshwater Fish, 1976-1984. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 19: 731-747.
- Segovia Zavala J. A., Delgadillo Hinojosa F. & Alvarez Borrego S. 1998. Cadmium in the Coastal Upwelling Area Adjacent to the California-Mexico Border. Estuarine, Coastal and Shelf Science 46: 475-481.
- Simoniello P., Filosa S., Riggio M., Scudiero R., Tammaro S., Trinchella F. & Motta C. M. 2009. Responses to cadmium intoxication in the liver of the wall lizard *Podarcis sicula*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C. Published online: 25 October 2009.
- Spaargaren D. H. & Ceccaldi H. J. 1984. Some relations between the elementary chemical composition of marine organisms and that of seawater. Oceanologica Acta: 7-63.
- Storelli M. M., Giacomini-Stuffler R., Storelli A. & Marcotrigiano G. O. 2005. Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. Marine Pollution Bulletin 50: 993-1018.
- Szefer P. 1998. Distribution and behaviour of selected heavy metals and other elements in various components of the southern Baltic ecosystem. Applied Geochemistry 13: 287-292.
- Tantivala C. 2000. Some biological study of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) and Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in the Eastern Indian Ocean. Indian Ocean Tuna Commission Proceedings 3: 436-440.
- Tariq J., Jaffar M. & Ashraf M. 1991. Levels of selected heavy metals in commercial fish from five freshwaer lakes, Pakistan. Toxicological & Environmental Chemistry 33: 133-140.
- Topcuoğlu S., Erentürk, N., Saygi, N., Kut, D., Esen, N., Başsarı, A. & Seddigh, E. 1990. Trace metal levels of fish from the Marmara and Black Sea. Toxicological & Environmental Chemistry 29: 95-99.
- Torra M., To-Figueras J., Brunet M., Rodamilans M. & Corbella J. 1994. Total and metallothionein-bound cadmium in the liver and the kidney of a population in

- Barcelona (Spain). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 53: 509-515.
- Ueno D., Takahashi S., Tanaka H., Subramanian A. N., Fillmann G., Nakata H., Lam P. K. S., Zheng J., Muchtar M., Prudente M., Chung K. H. & Tanabe S. 2003. Global Pollution Monitoring of PCBs and Organochlorine Pesticides Using Skipjack Tuna as a Bioindicator. Environmental Contamination and Toxicology 45: 378-389.
- Ueno D., Inoue D., Takahashi S., Ikeda K., Tanaka H., Subramanian A. N., Fillmann G., Lam P. K. S., Zheng J., Muchtar M., Prudente M., Chung K. & Tanabe S. 2004a. Global pollution monitoring of butyltin compounds using skipjack tuna as a bioindicator. Environmental Pollution 127: 1-12.
- Ueno D., Kajiwara N., Tanaka H., Subramanian A., Fillmann G., Lam P. K. S., Zheng G. J., Muchitar M., Razak H., Prudente M., Chung K. & Tanabe S. 2004b. Global Pollution Monitoring of Polybrominated Diphenyl Ethers Using Skipjack Tuna as a Bioindicator. Environmental Science Technology 38: 2312-2316.
- Uma Devi V. & Prabhakara Rao Y. 1989. Heavy metal toxicity to fiddler crabs. *Uca annulipes latreille* and *Uca triangularis* (Milne Edwards): respiration on exposure to copper, mercury, cadmium and zinc. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 43: 165-172.
- Vahter M., Berglung M., Nermell B. & Akesson A., 1996. Bioavailability of cadmium from shellfish and mixed diet in women. Toxicology and Applied Pharmacology 136: 332-341.
- Van Den Derg M., Birnbaum L., Bosveld A. T. C., Brunström B., Cook P., Feeley M., Giesy J. P., Hanberg A., Hasegawa R., Kennedy S. W., Kubiak T., Larsen J. C., Rolaf Van Leeuwen F. X., Djien Liem A. K., Nolt C., Peterson R. E., Poellinger L., Safe S., Schrenk D., Tillitt D., Tysklind M., Younes M., Waern F. & Zacharewski T. 1998. Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. Environmental Health Perspectives 106: 775-792

- Viarengo A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin* 16: 153.
- Viarengo A. 1989. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Reviews in Aquatic Sciences* 1-295.
- Villaseñor-Casales A. 2001. Descargas de la flota atunera mexicana durante el año 2000. *El Vigia* (12): 2-3.
- Voegborlo R. B., El-Methnani A. M. & Abedin M. Z. 1999. Mercury, cadmium and lead content of canned tuna fish. *Food Chemistry* 67: 341-345.
- Watanabe H. 1958. On the difference of the stomach contents of the yellowfin and bigeye tunas from the western equatorial Pacific. *Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, Report 7*: 72-81.
- Webb M. & Cain K. 1982. Functions of metallothionein. *Biochemical Pharmacology* 31: 137-143.
- Wells M. L., Zorkin N. G. & Lewis A. G. 1983. The role of colloid chemistry in providing a source of iron to phytoplankton. *Journal of Marine Research* 41: 731-746.
- WHO. 1993. *Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants*, Cambridge University Press, Cambridge.

10. ANEXOS

Anexo 1. Número de identificación (I.D.), especie, coordenadas y fecha de muestreo de los atunes estudiados.

I.D.	especie	Latitud	Longitud	Fecha de muestreo
1	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
2	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
3	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
4	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
5	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
6	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
7	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
8	<i>K. pelamis</i>	6°42' Norte	101°15' Oeste	11-13/04/2008
9	<i>T. albacares</i>	15°03' Norte	95°53' Oeste	08/04/2008
10	<i>T. albacares</i>	15°03' Norte	95°53' Oeste	08/04/2008
11	<i>T. albacares</i>	15°03' Norte	95°53' Oeste	08/04/2008
12	<i>T. albacares</i>	15°03' Norte	95°53' Oeste	08/04/2008
13	<i>T. albacares</i>	15°03' Norte	95°53' Oeste	08/04/2008
14	<i>T. albacares</i>	15°25' Norte	95°14' Oeste	12/04/2008
15	<i>T. albacares</i>	15°25' Norte	95°14' Oeste	12/04/2008
16	<i>T. albacares</i>	15°25' Norte	95°14' Oeste	12/04/2008
17	<i>T. albacares</i>	15°56' Norte	95°12' Oeste	11/04/2008
18	<i>T. albacares</i>	15°56' Norte	95°12' Oeste	11/04/2008
19	<i>T. albacares</i>	15°56' Norte	95°12' Oeste	11/04/2008
20	<i>T. albacares</i>	15°56' Norte	95°12' Oeste	11/04/2008
21	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
22	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
23	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
24	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
25	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
26	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
27	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
28	<i>K. pelamis</i>	15°11' Norte	97°10' Oeste	20/03/2008
29	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
30	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
31	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
32	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
33	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
34	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
35	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
36	<i>K. pelamis</i>	15°42' Norte	95°08' Oeste	22/05/2008
37	<i>T. albacares</i>	19°09' Norte	115°10' Oeste	30/06/2008
38	<i>T. albacares</i>	19°09' Norte	115°10' Oeste	30/06/2008
39	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
40	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
41	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
42	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
43	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
44	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
45	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008

46	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
47	<i>T. albacares</i>	13°53' Norte	91°56' Oeste	13/03/2008
48	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
49	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
50	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
51	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
52	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
53	<i>T. albacares</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
54	<i>K. pelamis</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
55	<i>K. pelamis</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
56	<i>K. pelamis</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
57	<i>K. pelamis</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
58	<i>K. pelamis</i>	11°18' Norte	109°15' Oeste	10/07/2008
59	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
60	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
61	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
62	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
63	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
64	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
65	<i>T. albacares</i>	29°13' Norte	119°04' Oeste	10/07/2008
80	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
81	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
82	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
83	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
84	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
85	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
86	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
87	<i>T. albacares</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
88	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
89	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
90	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
91	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
92	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
93	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008
94	<i>K. pelamis</i>	30°20' Norte	117°46' Oeste	07/10/2008

Anexo 2. Peso, longitud total, longitud furcal, concentraciones (mg/Kg con base a peso seco) de cadmio y cobre en músculo e hígado del barrilete *Katsuwonus pelamis*.

n	I.D.	Peso total (g)	Longitud total (cm)	Longitud furcal (cm)	Cu		Cd	
					Músculo	Hígado	Músculo	Hígado
1	1	2270	55	51	3.89	16.7	0.41	33.0
2	2	1964	52	48	4.37	9.95	0.04	18.6
3	3	1708	50	45	3.51	24.1	0.03	20.3
4	4	2426	55	51	3.97	22.3	0.05	21.1
5	5	2020	54	50	6.69	49.3	0.05	29.8
6	6	2222	54	49	5.79	25.6	0.03	24.0
7	7	2868	57	52	4.47	10.1	0.03	17.9
8	8	2148	53	50	4.50	45.7	0.17	33.2
9	21	1202	43	40	11.4	7.71	0.13	31.3
10	22	1494	47	44	3.27	17.3	0.10	46.1
11	23	1100	41	38	6.84	14.5	0.17	42.5
12	24	1320	43	40	3.50	39.2	0.13	42.1
13	25	1216	43	40	5.75	14.0	0.12	46.8
14	26	1984	48	45	3.18	9.80	0.11	42.7
15	27	1430	45	43	3.68	26.9	0.31	51.9
16	28	1856	50	46	4.47	23.3	0.13	96.6
17	29	3630	55	53	2.29	24.6	0.58	43.9
18	30	3100	54	50	3.00	23.8	0.45	33.7
19	31	3440	57	53	2.68	19.7	0.46	25.7
20	32	3110	53	51	1.57	21.3	0.18	23.7
21	33	2880	53	50	2.61	16.1	0.43	46.9
22	34	3130	60	54	2.27	15.2	0.14	15.2
23	35	4100	60	55	2.64	18.8	0.63	28.0
24	36	3570	58	54	2.61	21.7	0.48	42.8
25	54	4116	65	61	1.60	5.64	0.20	14.4
26	55	2360	51	49	1.90	26.7	1.12	21.3
27	56	4360	61	58	1.87	24.6	0.13	60.8
28	57	4740	66	62	2.12	24.4	0.12	36.0
29	58	5460	66	61	1.51	25.5	0.29	50.0
30	88	4762	66	60	1.40	17.8	0.15	52.8
31	89	5000	66	61	1.92	12.7	0.09	48.1
32	90	2512	53	49	1.98	24.0	0.07	52.6
33	91	4768	65	60	1.75	14.4	0.33	46.6
34	92	5500	65	62	1.23	15.6	0.11	68.8
35	93	5300	65	62	1.42	20.4	0.21	73.5
36	94	5800	65	61	1.70	8.49	0.19	44.7

n = número de organismo; I.D. = número de identificación

Anexo 3. Peso, longitud total, longitud furcal, concentraciones (mg/Kg con base a peso seco) de cadmio y cobre en músculo e hígado del atún aleta amarilla *Thunnus albacares*.

n	I.D.	Peso total (g)	Longitud total (cm)	Longitud furcal (cm)	Cu		Cd	
					Músculo	Hígado	Músculo	Hígado
1	9	6440	78	71	2.92	11.2	0.07	8.05
2	10	7580	82	75	2.64	7.71	0.04	10.2
3	11	5460	73	68	2.14	30.4	0.04	28.7
4	12	6680	77	70	4.66	25.9	0.03	19.1
5	13	6660	75	69	3.51	15.2	0.05	12.6
6	14	2160	54	49	2.32	10.2	0.18	43.7
7	15	2380	56	50	2.09	8.49	0.05	22.2
8	16	2220	54	50	11.2	11.4	0.08	41.7
9	17	1364	46	43	3.25	13.6	0.12	35.8
10	18	1174	43	39	3.36	9.37	0.08	22.6
11	19	1330	46	41	1.62	12.7	0.12	36.3
12	20	2242	51	48	2.07	35.9	0.07	58.2
13	37	18000	105	97	1.42	29.8	0.06	37.3
14	38	14610	100	91	1.20	28.0	0.06	31.9
15	39	16950	100	94	1.57	8.40	0.07	6.98
16	40	16350	97	92	1.57	9.40	0.12	4.22
17	41	18190	102	96	1.53	7.06	0.07	6.56
18	42	16370	100	92	1.18	5.69	0.18	3.70
19	43	13440	98	90	1.04	6.57	0.09	8.17
20	44	10760	87	83	1.73	5.24	0.58	8.45
21	45	11660	92	88	1.42	7.03	0.33	13.0
22	46	12600	96	88	1.16	4.63	0.09	6.08
23	47	12560	93	86	1.19	9.86	0.25	12.6
24	48	5600	70	66	1.95	12.7	0.15	10.9
25	49	7060	77	70	1.64	7.64	0.46	9.76
26	50	5340	73	65	2.27	10.8	0.18	16.7
27	51	6560	75	69	2.07	11.9	0.17	11.5
28	52	5240	68	63	1.51	37.3	0.14	35.9
29	53	5960	75	67	1.53	22.2	0.18	34.0
30	59	79269	185	161	0.70	8.49	0.21	11.6
31	60	66051	173	153	1.35	12.4	0.16	10.1
32	61	55852	158	142	0.98	129	0.14	64.9
33	62	32970	134	128	1.02	35.5	0.63	90.9
34	63	36425	139	121	1.63	64.9	0.63	43.6
35	64	29051	125	113	1.22	57.3	0.20	35.4
36	65	31001	131	123	1.43	32.6	0.14	48.6
37	80	4458	66	59	2.40	32.0	0.14	56.4
38	81	3424	60	54	2.75	13.7	0.36	33.9
39	82	3798	63	57	1.62	25.7	0.11	27.2
40	83	3568	60	54	2.71	21.4	0.35	54.8
41	84	2436	55	48	4.41	23.4	0.34	38.1
42	85	10500	92	80	1.98	11.4	0.15	21.2
43	86	2492	55	49	1.75	17.6	0.12	58.1
44	87	2282	55	48	2.05	43.0	0.12	47.3

n = número de organismo; I.D. = número de identificación

Anexo 4. Concentraciones y factores de transferencia al músculo e hígado de cadmio y cobre de ambos atunes.

I.D.	especie	Contenido		Músculo		Hígado		
		Estomacal	mg Cd / Kg	mg Cu / Kg	TF Cd	TF Cu	TF Cd	TF Cu
15	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Cangrejos)	10.2	15.8	0.02	0.14	2.75	1.36
35	<i>K. pelamis</i>	Crustáceo	10.1	11.3	0.02	0.29	3.94	1.82
37	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Decapados)	13.8	12.2	0.01	0.18	2.05	1.76
38	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Langosta)	7.30	9.81	0.03	0.22	3.85	2.19
39	<i>T. albacaes</i>	Pez (Serranidae)	4.00	10.7	0.05	0.20	7.05	2.01
40	<i>T. albacaes</i>	Pez (Serranidae)	2.02	4.31	0.09	0.51	13.9	4.98
40	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Decapados)	0.79	15.9	0.23	0.14	35.7	1.35
41	<i>T. albacaes</i>	Pez (Atún Serranidae)	3.28	10.9	0.06	0.20	8.60	1.98
44	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	27.8	12.2	0.007	0.18	1.01	1.76
45	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	25.8	29.4	0.007	0.07	1.09	0.73
46	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	14.7	7.35	0.01	0.30	1.91	2.92
47	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	16.2	7.52	0.01	0.29	1.73	2.85
48	<i>T. albacaes</i>	Pez (Óseo)	42.8	11.3	0.004	0.19	0.66	1.90
50	<i>T. albacaes</i>	Molusco (Calamar)	17.9	31.2	0.01	0.07	1.57	0.69
52	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	11.9	18.7	0.02	0.12	2.36	1.15
53	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	17.4	19.5	0.01	0.11	1.62	1.10
54	<i>K. pelamis</i>	Crustáceo (Camarón)	14.5	22.4	0.02	0.15	2.74	0.92
55	<i>K. pelamis</i>	Crustáceo (Camarón)	29.7	62.1	0.01	0.05	1.33	0.33
58	<i>K. pelamis</i>	Crustáceo (Cangrejos y Camarones)	28.1	36.9	0.01	0.09	1.41	0.56
59	<i>T. albacaes</i>	Pez (Óseo)	12.9	9.32	0.01	0.23	2.18	2.31
60	<i>T. albacaes</i>	Pez (Varios)	3.03	5.87	0.06	0.37	9.29	3.66
61	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Camarón)	3.31	14.5	0.05	0.15	8.49	1.48
61	<i>T. albacaes</i>	Molusco (Calamar)	4.82	10.1	0.04	0.22	5.84	2.12
62	<i>T. albacaes</i>	Pez (Botete)	8.44	3.95	0.02	0.55	3.33	5.44
62	<i>T. albacaes</i>	Molusco (Calamar)	11.8	5.69	0.02	0.38	2.38	3.77

63	<i>T. albacaes</i>	Pez (Anchoa)	4.27	4.43	0.04	0.49	6.60	4.85
64	<i>T. albacaes</i>	Crustáceo (Decapados)	4.59	9.13	0.04	0.24	6.13	2.35
64	<i>T. albacaes</i>	Pez (Sardina)	9.18	7.32	0.02	0.30	3.07	2.93
65	<i>T. albacaes</i>	Pez (Vértebras de pez óseo)	2.85	2.76	0.06	0.79	9.89	7.79
65	<i>T. albacaes</i>	Pez (Scombridae)	3.30	8.35	0.06	0.26	8.52	2.57
80	<i>T. albacaes</i>	Molusco (Calamar)	29.1	38.4	0.006	0.06	0.97	0.56
81	<i>T. albacaes</i>	Pez (Anchoa)	3.21	4.00	0.06	0.55	8.76	5.37
82	<i>T. albacaes</i>	Pez (Sardina)	11.9	19.6	0.02	0.11	2.37	1.10
83	<i>T. albacaes</i>	Molusco (Calamar)	23.6	29.5	0.01	0.07	1.20	0.73
85	<i>T. albacaes</i>	Pez (Atún)	5.18	10.8	0.04	0.20	5.44	1.99

I.D. = número de identificación