

**ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO, MERCURIO, PLOMO Y
FENANTRENO EN LA MACHA (*Mesodesma donacium*). IMPLICANCIAS
ALIMENTARIAS Y TOXICOLÓGICAS**

**STUDY ON ARSENIC, MERCURY, LEAD AND PHENANTHRENE CONCENTRATION
IN SURF CLAM (*Mesodesma donacium*). FOOD AND TOXICOLOGICAL
IMPLICATIONS**

Oscar Díaz S (1), Francisco Encina M (3), Estela Recabarren G (2), Sergia Del Valle C (1),
Rubén Pastene O (1), Sergio Montes S (1), Angélica Figueroa Q. (4).

(1) Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile, Casilla 40, Correo 33,
Santiago, Chile.

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Casilla Postal 10322, Santiago, Chile.

(3) Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco, Dirección Postal 15-D, Temuco, Chile.

(4) Centro EULA Chile, Universidad de Concepción, Casilla 156-C, Concepción, Chile.

Este trabajo fue recibido el 26 de Diciembre de 2007 y aceptado para ser publicado el 18 de Marzo de 2008.

Dirigir la correspondencia a:

Dr. Oscar Díaz Schultze
Departamento de Biología
Facultad de Química y Biología
Universidad de Santiago de Chile
Santiago, Chile
Fono: 7181095
Fax: 681 2108
E-mail : odiaz@usach.cl

ABSTRACT

The coastal environment around the Maipo river outlet in the proximity of San Antonio bay (Vth Region, Chile) it is one of the most contaminated zone of the country due to discharges of industrial wastes on the river that affect the marine environment. The surf clam (*Mesodesma donacium*, Lamarck 1818) a benthic organism that provides an important source of seafood for human consumption is caught in this area. The total arsenic and mercury, lead and phenanthrene concentrations in the soft body of the surf clam were measured. The concentration of the elements in the marine organism fluctuated between 1,23–1,33 $\mu\text{g/g}$ As, 0,26–0,39 $\mu\text{g/g}$ Hg, and 0,23–0,33 $\mu\text{g/g}$ Pb (dry basis). Phenanthrene was not detected in the samples. In spite of the high concentration of the elements detected in the surf clam, only in the case of Hg their intake could imply a certain grade of risk for human health, especially for young humans. Chronic effects, such as personality changes, neurological damage and others, could exhibit in the medium term. Therefore, it is important to carry out regular food surveillance studies, especially oriented to the specie specific aspect of toxic elements and monitoring of polyaromatic hydrocarbons (PAH) in several marine food.

Key words: heavy metals; metalloid; surf clam; toxicological risk; provisional tolerable weekly intake.

INTRODUCCIÓN

La contaminación marina generalmente se encuentra asociada tanto a la presencia de compuestos orgánicos como inorgánicos, habitualmente de origen antrópico. Alguno de estos contaminantes tales como los elementos traza e hidrocarburos poliaromáticos (HPA), pueden alcanzar a algunos organismos marinos que sirven de alimento humano, pudiendo ocasionar efectos tóxicos a corto o largo plazo (2).

Los elementos más representativos y conocidos por su alta toxicidad son el arsénico (especialmente su forma inorgánica), el mercurio (particularmente el metilmercurio) y el plomo. Cada uno de ellos ha sido responsable de incidentes de contaminación a gran escala y, a pesar de algunas medidas de control, continúan siendo una amenaza potencial para la vida acuática y la salud humana (10, 20).

Los HPA, grupo al cual pertenece el fenantreno, son conocidos agentes cancerígenos, los cuales pueden llegar al hombre en forma directa (inhalación) o a través del consumo de productos marinos de importancia alimentaria. Están universalmente distribuidos en el ambiente, contaminando el suelo y principalmente los sedimentos marinos (10). La actividad antropogénica es la principal responsable de HPA liberados al ambiente. En general, las más altas concentraciones de HPA se correlacionan con la proximidad de los organismos con áreas receptoras de descargas de hidrocarburos (12).

En este estudio hemos seleccionado el fenantreno debido a que junto a su isómero el antraceno, son resistentes a la degradación química y biológica por lo que su presencia en los organismos reviste un gran interés toxicológico.

La mayor parte de las mediciones de elementos tóxicos y HPA en organismos, se han hecho en moluscos bivalvos. Ellos se caracterizan por ser organismos sésiles y filtradores, así pueden acumular rápidamente estos contaminantes. Además, representan una importante fuente de alimentos, especialmente para las comunidades humanas costeras (19, 2, 3).

En este estudio colectamos el molusco bivalvo filtrador conocido como macha (*Mesodesma donacium*), directamente de su hábitat en la zona costera de la bahía de San Antonio, el cual representa un recurso de alto consumo en la población local.

Este trabajo corresponde a un estudio de línea base, cuyo objetivo fue determinar los niveles de As, Hg, Pb y fenantreno en la macha y estimar el riesgo de intoxicación a que puede estar expuesta la población consumidora.

MATERIALES Y MÉTODO

1. Materiales

El material de análisis correspondió al molusco conocido como macha (*Mesodesma donacium*), el cual fue obtenido en el área costera de la bahía de San Antonio, en el sector comprendido entre Santo Domingo y el puerto de San Antonio (V Región). Se recolectó un total de 30 individuos en el período comprendido entre Junio y Noviembre de 1999 en tres campañas de muestreo: Junio (C1), Septiembre (C2) y Noviembre (C3). El número de ejemplares obtenidos, obedece a razones

estadísticas, geográficas y ambientales. En efecto, 30 muestras en total, representan un número suficiente para las interpretaciones estadísticas de los resultados. Además, la especie elegida se caracteriza por su restringida distribución en la zona de muestreo, debido por una parte a conocidos problemas de contaminación que afectan la zona costera y por otra parte ha habido una sobreexplotación del recurso, todo lo cual limita significativamente su colección

Las muestras de macha fueron colectadas aleatoriamente desde su hábitat y luego transportadas al laboratorio en bolsas plásticas que contenían hielo. En el laboratorio, previo lavado con agua bidestilada, el cuerpo blando de cada individuo fue removido de la concha, pesado, liofilizado y almacenado a 4°C hasta el momento de su análisis, en las siguientes 48 horas. (17, 7).

2. Método

Análisis de As total, Hg total y Pb.

El método instrumental utilizado para medir la concentración de As total, Hg total y Pb, fue el de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con las condiciones indicadas en la tabla 1. Para tales efectos se utilizó un espectrofotómetro marca GBC modelo 903 (Provinco S.A., Chile), al cual se acopló un generador de hidruros (GH) para el análisis de As total (27, 16) y de vapor frío (VF) para el análisis de Hg total (6, 8).

TABLA 1

Condiciones experimentales y análisis de material de referencia certificado en la determinación de As, Hg y Pb.

Condiciones experimentales	Elemento		
	As	Hg	Pb
Método	EAA-GH	EAA-VF	EAA-llama
Límite de detección ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0.1	5.5	0.06
Valor certificado ($\mu\text{g g}^{-1}$)	17.7 ± 2.1	0.80 ± 0.07	0.4 ± 0.12
Valor encontrado ($\mu\text{g g}^{-1}$)	17.58 ± 0.3	0.88 ± 0.01	0.45 ± 0.04
r^2 *	0.9988	0.9989	0.9995

Material de Referencia Certificado: NRC, DORM-1; * coeficiente de correlación de calibración;

EAA-GH: espectroscopía de absorción atómica con generador de hidruro; EAA-VF: espectroscopía de absorción atómica por vapor frío;

EAA-llama: espectroscopía de absorción atómica de llama.

Los análisis se hicieron sobre muestras individuales, sometiendo el material liofilizado y homogeneizado (0,5 g por muestra individual) a una digestión ácida (HNO_3 cc) mediante el uso de bombas PARR.

Durante el análisis de cada set de muestras, dos blancos obtenidos con el mismo procedimiento aplicado a las muestras, fueron examinados con el fin de verificar la pureza de los reactivos.

Análisis de fenantreno en *M. donacium*

El método instrumental utilizado para medir la concentración de fenantreno, fue el de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), con las condiciones indicadas en la tabla 2. Para tal efecto se utilizó un cromatógrafo marca Merck-Hitachi modelo 655-A-12, acoplado a un integrador Merck-Hitachi D-2000 y a un controlador Merck-Hitachi L-5000 LC. Se utilizó un detector UV Merck-Hitachi 655 A.

Los análisis se hicieron sobre muestras individuales, sometiendo el material liofilizado y homogeneizado (1 g por muestra individual) a un proceso de extracción con diclorometano (25,5). El análisis cuantitativo de fenantreno se realizó según el procedimiento de Lamparczyk (14), Del Valle & Lastra (5) y recomendado por Supelco (25).

Con el fin de asegurar la confiabilidad del resultado, el análisis de cada muestra (20 μL) se realizó junto a la inyección de 5 μL de un estándar de fenantreno.

TABLA 2
Condiciones experimentales y análisis de material de referencia certificado en la
determinación de fenantreno.

Condiciones Experimentales	Compuesto
	Fenantreno
Método	HPLC-UV
Longitud de onda (nm)	254
Presión gas (kg cm ²)	110-120
Flujo (mL min ⁻¹)	1
Fase móvil	Acetonitrilo/agua (75/25)
Tiempo de retención (min)	4.40
Columna cromatográfica (tipo/mm)	RP-18 / 125 x 4
Valor certificado (µg g ⁻¹) *	0.73 ± 0.075
Valor encontrado, N=3 (µg g ⁻¹)	0.76 ± 0.03

Material de Referencia Certificado: Sediment EC-4.

El material de laboratorio utilizado en todos los análisis, fue de vidrio Pyrex tratado pre y post-análisis con HNO₃ (10 % v/v), agua deionizada y diclorometano en el caso de los análisis de fenantreno.

La exactitud del método EAA y HPLC, fue verificado mediante análisis de material de referencia certificado (tablas 1 y 2).

Los resultados se expresan sobre base seca (en µg g⁻¹ p.s., tabla 3) y su confiabilidad se basa en los valores del límite de detección para cada elemento, el coeficiente de correlación de calibración y de las condiciones experimentales empleadas en todos los análisis (tablas 1 y 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 presenta las concentraciones promedio de As total, Hg total, Pb y fenantreno en el cuerpo blando de *M. donacium* en cada período de muestreo.

De la tabla 3, se puede observar que las concentraciones de cada uno de los elementos analizados no varían en cada muestreo. La concentración de As resultó ser la más alta, respecto de los niveles de Hg y Pb, aún cuando éstos últimos son igualmente elevados.

TABLA 3

Concentración de As, Hg, Pb y fenantreno en *M. donacium* en cada muestreo.

Campaña	As ($\mu\text{g/g}$, ps)	Hg ($\mu\text{g/g}$, ps)	Pb ($\mu\text{g/g}$, ps)	Fenantreno ($\mu\text{g/g}$, ps)
C ₁ (n=10)	1.23 \pm 0.30	0.39 \pm 0.11	0.33 \pm 0.07	ND
C ₂ (n=10)	1.33 \pm 0.27	0.26 \pm 0.11	0.23 \pm 0.07	ND
C ₃ (n=10)	1.32 \pm 0.25	0.38 \pm 0.06	0.25 \pm 0.09	ND

ND: no detectado; ps: peso seco.

Estos resultados permiten atribuir una notable influencia del ambiente de *M. donacium*, en las altas concentraciones de los elementos en el cuerpo blando, comparables con los obtenidos por otros autores en bivalvos bentónicos, entre ellos *M. donacium* recolectados en zonas costeras conocidamente contaminadas. En efecto, un estudio llevado a cabo por Chiang (4), que consistió en medir la concentración de varios metales pesados en *M. donacium* y *Perumytilus purpuratus* recolectados en la zona costera de Valparaíso (Quinta Región, Chile), mostraron una gran variación en la concentración de Hg total y Pb. En *M. donacium*, la concentración de Hg total fluctuó entre 0,11 y 0,34 $\mu\text{g g}^{-1}$, valores inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, mientras que los niveles de

Pb variaron entre 6,14 y 11,98 $\mu\text{g g}^{-1}$, concentraciones muy superiores a las medidas en nuestro trabajo.

En un estudio posterior llevado a cabo por Ahumada (1), orientado a medir la concentración de Hg y Pb en *Tagelus dombeii* (navajuela), bivalvo colectado en varias estaciones ubicadas en la bahía San Vicente (Octava Región, Chile), y el cual es exportado al mercado europeo, se obtuvo una concentración promedio para ambos metales tóxicos equivalente a 0,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, la cual es algo superior a la obtenida en nuestro trabajo.

Estos resultados representan consecuencias sanitarias y económicas, debido a que la navajuela constituye una importante fuente de alimento humano.

En un trabajo recientemente publicado, tuvo como objetivo aportar datos de base sobre los niveles de Hg y Pb, entre otros metales pesados, en diferentes especies de moluscos de importancia económica y alimentaria, los cuales fueron recolectados entre marzo y mayo de 1994 en diferentes puntos de la línea costera en la Patagonia argentina. El Hg no fue detectado en ninguna de las muestras analizadas, mientras que la concentración de Pb fluctuó entre 1,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ y 6,74 $\mu\text{g g}^{-1}$ sobre base seca, dependiendo del sitio de muestreo y la especie (11). Estos valores son muy superiores a los medidos en *M. donacium*.

La concentración de Hg y Pb en organismos marinos en países como el Reino Unido, son muy variables, fluctuando entre 0,05 y 0,5 $\mu\text{g Pb g}^{-1}$ peso seco y una concentración promedio de 0,27 $\mu\text{g Hg g}^{-1}$ peso seco, los cuales son del mismo orden a los obtenidos en este trabajo (20).

Todos estos resultados permiten deducir la influencia del aporte antrópico de tales metales tóxicos en los organismos marinos, hecho que reviste no solo consecuencias ambientales, sino también sanitarias.

Respecto al metaloide As, escasos estudios se han realizado en nuestro país en organismos marinos y particularmente en bivalvos, a pesar del hecho conocido que este elemento tóxico tiende a concentrarse en este tipo de organismos. Santa María *et al.* (23), informaron concentraciones de As total que fluctuaron entre 1,3 y 21,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, en diversas especies de organismos bentónicos marinos recolectados en diferentes lugares de la costa de Chile, valores superiores a los

medidos en nuestro estudio. La influencia del lugar de recolección de las muestras, probablemente influyó en el amplio rango de concentración medido.

Entre los trabajos más recientes realizados fuera de Chile, se puede citar el estudio de Shiomi (24), que informó una concentración promedio de As total en el tejido blando del molusco bivalvo *Tapes japonica* equivalente a $17,5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, similar al valor encontrado por Santa María y superior al obtenido en nuestro trabajo. Estos hallazgos permiten suponer que la concentración de As total en *M. donacium*, pudiera tener un origen natural.

Futuros estudios sobre el contenido de As en organismos marinos en Chile, deberán considerar la especiación, es decir identificar la forma química en que se encuentra el metaloide, con el fin de determinar con seguridad aspectos relacionados con su toxicidad y metabolismo. Actualmente se sabe que la mayor parte del As en algas y otros organismos acuáticos como peces y moluscos, lo constituyen compuestos dimetilados, trimetilados y arsenobetaína (24, 18).

Los moluscos, crustáceos y otros invertebrados marinos que habitan ambientes contaminados, y que se ocupan como fuentes de alimento humano, son conocidos acumuladores de metales pesados y metaloides en sus tejidos. Ellos tienen la capacidad de regular la concentración del elemento dentro de la célula y acumular el exceso en una forma no tóxica. Este es el caso del As, el cual se ingiere habitualmente como una especie química inorgánica, mas tóxica y es convertida por el organismo en arsenoazúcar o arsenobetaína, una de las especies mas abundantes en los organismos marinos, las cuales constituyen especies menos tóxicas (22).

En lo que concierne al Hg, la situación es lo opuesto al As. El Hg es acumulado en los tejidos de peces y bivalvos usualmente como metilmercurio, más tóxico, mientras que la fuente que lo abastece habitualmente es mercurio inorgánico, menos tóxico (7).

En el mecanismo de homeostasis de un invertebrado marino en el que participa un elemento tóxico, se encuentran involucradas las metalotioneínas. Uno de los roles más importantes de estas proteínas, consiste en proteger a la célula ante la presencia de un elemento tóxico que penetra a la célula (26).

Estos hechos son muy importantes, debido a que los alimentos marinos constituyen una vía efectiva para la ingesta de tóxicos químicos, los cuales pueden causar efectos negativos en la salud

humana. De esta manera, las autoridades gubernamentales en la mayoría de los países controlan la ingesta dietaria de metales y metaloides en los alimentos, estableciendo límites máximos. El riesgo que significa para la salud humana, se determina comparando la ingesta estimada del tóxico, con los niveles seguros recomendados. Estas recomendaciones se basan en el concepto de Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP), las que para el caso de los elementos analizados en el presente estudio, son presentados en la tabla 4, además de los valores de ISTP en el adulto y en un adolescente.

TABLA 4
Ingesta semanal tolerable provisional para As (como As inorgánico),
Hg total y Pb (FAO/OMS, 1989).

Elemento	ISTP ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$)	ISTP ($\mu\text{g}/\text{semana}$) Adulto (68 kg)	ISTP ($\mu\text{g}/\text{semana}$) Adolescente (45 kg)
As (As inorg.)	15	1020	675
Hg (Hg total)	5	340	225
Pb	25	1700	1125

ISTP: ingesta semanal tolerable provisional.

Tomando en cuenta una concentración promedio de $0,27 \mu\text{g Pb g}^{-1}$ peso seco ($0,068 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo), medida en las muestras de macha durante todo el período de estudio, un adulto con un peso de 68 kg, superará la ISTP para este elemento, consumiendo mas de 25 kg del molusco en una semana.

En el caso del Hg, si se considera una concentración promedio de $0,34 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco ($0,085 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo), medida en las muestras de macha, un adulto de 68 kg de peso superará la ISTP para este elemento tóxico, consumiendo 4 kg del molusco a la semana.

Si se considera que el porcentaje de As inorgánico presente en algunos moluscos bivalvos, tales como *Mytilus edulis*, representa aproximadamente el 20% del As total (22) y de acuerdo a nuestros resultados la concentración promedio de As total en la macha alcanzó a $1,29 \mu\text{g g}^{-1}$ peso

seco ($0,32 \mu\text{g g}^{-1}$ de As inorgánico, equivalente a $0,08 \mu\text{g g}^{-1}$ peso húmedo), un adulto de 68 kg de peso superará la ISTP para este metaloide, consumiendo aproximadamente 13 kg del molusco en una semana.

Lo anterior permite deducir que a excepción de la ingesta de Hg total a través de la macha en un adulto, no reviste riesgo significativo para su salud, debido a las altas cantidades del molusco que debería consumir, para superar la ISTP.

La situación cambia si se trata de un adolescente de 13 y 15 años, para el cual se considera un peso promedio aproximado de 45 kg, basado en una información obtenida de una encuesta alimentaria recordatoria 24 horas, tendiente a medir la ingesta de As inorgánico en una muestra poblacional de la II Región (9). De esta manera, un consumo de 16,5 kg de macha bastaría para superar la ISTP fijada para Pb; 2,6 kg del molusco sería suficiente para alcanzar la ISTP establecida para Hg y 8,4 kg serían suficientes para superar la ISTP fijada para As inorgánico.

Tratándose de adolescentes cuya dieta principal la constituye productos del mar como la macha (hijos de pescadores), en el caso del Hg, nuevamente puede constituir una situación de riesgo, pues el consumo de más de 2 kg de macha a la semana, es una situación posible.

Finalmente, de la tabla 3 se puede observar que no se detectó la presencia de fenantreno en las muestras de *M. donacium*. Este hecho puede deberse a que como se estableció, la presencia de fenantreno en el ambiente acuático se encuentra asociada al vertimiento de hidrocarburos. No existe información respecto a estudios realizados en la zona de nuestro muestreo, relacionados con la presencia de HPA y particularmente fenantreno en el ambiente y la biota.

Habitualmente las concentraciones más altas de HPA, se encuentran en aquellos organismos que al momento de la captura se vieron afectados por un derrame de hidrocarburos (15, 12, 13), situación descartada en el caso del presente trabajo.

Hellou & Payne (12), realizaron un estudio tendiente a medir la concentración de variados HPA en diferentes tejidos de *Gadus morhua* recolectada en el Océano Atlántico Norte. La concentración de fenantreno-antraceno en el hígado fluctuó entre 60 y 390 ng g^{-1} peso seco, mientras que en el músculo no fue detectado.

Concentraciones similares fueron medidas en el bivalvo *Turbo cornutus* (220 ng g⁻¹ peso seco) durante el primer mes, posterior al derrame de hidrocarburos del buque tanque ruso Nakhodka, en el mar de Japón en 1997. Sin embargo, la concentración disminuyó a 27 ng g⁻¹ peso seco a partir del segundo mes de ocurrido el accidente (13).

La ausencia de fuentes que aportan HPA y particularmente fenantreno en el área de nuestro estudio, explicaría que el compuesto no fue detectado en *M. donacium*. Sin embargo, estudios futuros en el área deberían incorporar además de la técnica HPLC, otros métodos que permitan confirmar o descartar la presencia de HPA y/o fenantreno en los organismos.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que:

1. Las altas concentraciones de As total, Hg total y Pb en *Mesodesma donacium*, revelan el impacto negativo de la presencia de posibles desechos tóxicos en la zona costera de la bahía de San Antonio, en el momento de realizar este estudio. El hecho de que el fenantreno no fue detectado en *M. donacium*, permite descartar su presencia en el área de estudio, como así también el riesgo para la salud humana asociado a la presencia de este contaminante, durante el período de recolección de las muestras.
2. La ingesta de As, Hg y Pb mediante el consumo de la macha, no reviste mayor riesgo en el adulto. Sin embargo, al comparar esta situación en el caso de un adolescente, la ingesta de Hg pudo significar un riesgo para su salud, debido a que un consumo de alrededor de 2,5 kg del bivalvo a la semana, puede ser suficiente para alcanzar la ISTEP. Las manifestaciones clínicas de los posibles efectos crónicos del elemento tóxico, tales como cambios en la personalidad, disminución del coeficiente intelectual o hasta daño neurológico, pudieran ser observados a mediano plazo luego de la realización de este trabajo.
3. Si bien es cierto que en este estudio se ha considerado solo a la macha como alimento, se debe tomar en cuenta que habitualmente las poblaciones costeras consumen variados alimentos marinos, los cuales se sabe aportan igualmente los elementos tóxicos analizados en este trabajo, lo cual entraría a aumentar tanto su ingesta como el nivel de riesgo.

4. Se debe considerar también, que el As, Hg y Pb son elementos acumulables en el organismo humano, a pesar de que se excreta una alta fracción de ellos, por lo que una exposición prolongada puede ocasionar efectos dañinos a la salud a largo plazo. Aunque este trabajo no aporta evidencias en este sentido, sí permite inferir al respecto.

RESUMEN

La zona costera de la bahía de San Antonio en las proximidades a la desembocadura del río Maipo (Quinta Región, Chile), es una de las áreas más contaminadas del país, debido a residuos industriales vertidos al río, los cuales afectan el ambiente marino. La macha (*Mesodesma donacium*, Lamarck 1818), organismo bentónico que constituye una importante fuente de alimento humano, es capturada en esta área. Se midió la concentración de arsénico total, mercurio total, plomo y fenantreno en el cuerpo blando de la macha, con el fin de determinar su ingesta y el riesgo toxicológico para el consumidor. Las concentraciones de los elementos en el organismo marino, fluctuaron entre 1,23–1,33 $\mu\text{g As g}^{-1}$, 0,26–0,39 $\mu\text{g Hg g}^{-1}$ y 0,23–0,33 $\mu\text{g Pb g}^{-1}$, valores expresados en base seca. El fenantreno no fue detectado en las muestras. A pesar de las altas concentraciones de los elementos detectadas en la macha, sólo para el caso del Hg su ingesta puede significar un cierto grado de riesgo para la salud humana, especialmente en el consumidor joven. Efectos crónicos tales como cambios en la personalidad, daño neurológico y otros, pudieran manifestarse a mediano plazo. Por lo tanto, es importante realizar estudios regulares de vigilancia alimentaria, especialmente dirigidos a la especiación de los elementos tóxicos y el monitoreo de hidrocarburos poliaromático (HPA), en variados alimentos marinos.

Palabras claves: metales pesados; metaloide; macha; riesgo toxicológico; ingesta semanal tolerable provisional.

Agradecimientos: Este estudio fue realizado con el aporte de la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile (DICYT-USACH, proyecto 019574DS) y el apoyo de la Municipalidad de San Antonio.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahumada R. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) en tejido de invertebrados bénticos de bahía San Vicente, Chile. *Rev Biol Mar Oceanogr* 1994; 29(1):77–87.
2. Ajani PA, Roberts DE, Smith AK, Krogh M. The effect of sewage on two bioindicators at Port Stephens New South Wales, Australia. *Ecotoxicol* 1999; 8:253-257.
3. Boutet I, Tanguy A, Moraga D. Response of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* to hydrocarbon contamination under experimental conditions. *Gene* 2004; 329:147-157.
4. Chiang JJ. Niveles de metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. *Rev Pacífico Sur (Núm. Esp.)* 1989; pp. 205-215.
5. Del Valle S, Lastra P. Estudio químico analítico de contaminantes en organismos marinos de importancia económica, ambiental y alimentaria. Tesis para optar al título de Técnico Universitario en Industria Alimentaria. Facultad Tecnológica. Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, 1998.
6. Díaz O. *Tagelus dombeii* como organismo indicador de la calidad del agua marina en la zona costera de la bahía San Vicente (VIII Región, Chile) y del riesgo de contaminación por mercurio y metilmercurio de origen antrópico. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Centro EULA Chile. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 1993.
7. Díaz O, Encina F, Chuecas L, Becerra J, Cabello J, Figueroa A, Muñoz F. Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. *Rev Biol Mar Oceanogr* 2001; 36 (1):15–29.
8. Díaz O, Chuecas L, Frache R, Encina F. Seasonal and spatial distribution of total mercury in samples of seawater, suspended particulate matter and sediments, collected near of a chlor-alkali plant. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas* 1997; 115:49–57.
9. Díaz OP, Leyton I, Muñoz O, Núñez N, Devesa V, Suñer MA, Vélez D, Montoro R. Contribution of water, bread and vegetables (raw and cooked) to dietary intake of inorganic arsenic in a rural village of Northern Chile. *J Agric Food Chem* 2004; 52:1773–1779.

10. Francis MB. Chapter 6. Hazardous waste disposal. En: Toxic substances in the environment. John Wiley & Sons, Inc. New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapore 1994; p.121-146.
11. Gil M, Torres A, Harvey M, Esteves JL. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. Rev Biol Mar Oceanogr 2006; 41(2):167–176.
12. Hellou J, Payne JJ. Polycyclic aromatic compounds in northwest atlantic cod (*Gadus morhua*). Environ Pollut 1994; 84:197-202.
13. Koyama J, Seiichi U, Kumiko K. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination and recovery characteristics in some organisms after the Nakhoda oil spill. Mar Pollut Bull 2004; 49:1054-1061.
14. Lamparczyk H, Ochocka J, Gryzbowski J, Halkiewicz J, Radecki A. Parameters related to pollution by n-alkanes and PAH in Baltic water and sediments. Mar Pollut Bull 1988; 19(5):222-226.
15. Mc Elroy AE. Chapter 1. Bioavailability of polynuclear aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. In: Metabolism of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) in the environment. Usha Varanasi (Ed.). Boston, USA, 1986.
16. Mc Laren SJ, Kim ND. Evidence for a seasonal fluctuation of arsenic in New Zealand's longest river and the effect of treatment on concentrations in drinking water. Environ Pollut 1995; 90 (1):67-73.
17. Minganti V, Capelli R, de Pellegrini R. The presence of inorganic and organic mercury and selenium in *Nephrops norvegicus* from the Ligurian Sea. Sci Tot Environ 1990; 95:53-60.
18. Muñoz O, Devesa V, Suñer MA, Vélez D, Montoro R, Urieta I, Macho ML, Jalón M. Total and inorganic arsenic in fresh and processed fish products. J Agric Food Chem 2000; 48: 4369-4376.
19. Nandini N, Menon NR. Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons from suspended oil borne sediments by the marine bivalve *Sunetta scripta*. Aquat Toxicol 1999; 45:63-69.

20. Reilly C. Metal contamination of food. Its significance for food quality and human health. Third Edition. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK 2002, p. 81–100.
21. Roy P, Saha A. Metabolism and toxicity of arsenic: A human carcinogen. *Current Science* 2002; 82 (1):38-45.
22. Slejkovec Z, Byrne AR, Smodis B. Preliminary studies on arsenic species in some environmental samples. *Fresenius J Anal Chem* 1996; 354:592–595.
23. Santa María I, González M, Lara W, Ober A. Arsenic levels in Chilean marine species. *Bull Environ Contam Toxicol* 1986; 37:593-598.
24. Shiomi K. Arsenic in marine organisms: Chemical forms and toxicological aspects. En: *Arsenic in the Environment. Part II: Human Health and Ecosystems Effects*. Jerome O. Nriagu (Ed.) 1994, pp 261-282.
25. SUPELCO. Chromatography Products. SUPELCO PARK, Bellefonte, PA, 1996.
26. Viarengo A, Nott JA. Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. *Comp Biochem Physiol* 1993; 104C(3):355-372.
27. Ybañez N, Cervera ML, Montoro R. Determination of arsenic in dry ashed seafood products by hydride generation atomic absorption spectrometry and critical comparative study with platform furnace Zeeman effect atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Anal Chim Acta* 1992; 258:61-71.