

# Contenido de arsénico (total e inorgánico) cadmio, plomo y mercurio en el alga *Undaria pinnatifida*: normativa existente e implicancias sanitarias

---



Lic. Miguel Lupiano  
Ing. Valeria P. Solana  
Dr. Fernando G. Dellatorre

Octubre 2016

## Introducción

La demanda de algas a nivel mundial -ya sea para el consumo humano o para la elaboración de diferentes productos industriales- se ha intensificado en los últimos años, llegando la producción mundial a valores de 28,5 millones de toneladas (FAO 2016). Actualmente más del 95 % de la producción mundial de algas se produce mediante cultivo y principalmente en China e Indonesia (>80 %) (FAO 2014; FAO 2016). Del total de producción, unos 9 millones de toneladas se destinan a consumo humano directo, mientras que la biomasa restante es utilizada principalmente para la extracción industrial de ficopolisacáridos (alginatos de algas pardas, agar-agar y carragenina de algas rojas). Las especies más ampliamente utilizadas como alimento humano son *Laminaria japonica* (kombu), *Undaria pinnatifida* (wakame) y varias especies del género *Porphyra spp.* (nori). Estas son conocidas mundialmente por sus nombres Japoneses (entre paréntesis). El género *Porphyra* incluye especies de algas rojas, mientras que *L. japonica* y *U. pinnatifida* son especies de algas pardas.

Las algas son -en general- alimentos de alto valor nutritivo, que proporcionan gran cantidad de vitaminas, minerales y otros compuestos con efectos benéficos sobre la salud como los ácidos grasos poliinsaturados (principalmente omega-3) (Pereira et al. 2012; Chen et al. 2016), pigmentos carotenoides (como la fucoxantina) (D'Orazio et al. 2012) o polisacáridos (fucooidanos) (Fitton et al. 2015). Mientras algunos países consumen tradicionalmente algas otros las han introducido paulatinamente en sus dietas. En Argentina, a pesar de poseer amplias costas y gran abundancia de especies, no existe una tradición de consumo.

*Undaria pinnatifida* es una especie de macroalga exótica que desde el año 1992 crece sobre los fondos rocosos de las costas argentinas. Esta especie se transformó rápidamente en invasora y actualmente ocupa más de la mitad del litoral marítimo argentino y genera densas praderas que superan en algunos casos las 20 toneladas/hectárea (Dellatorre et al. 2012; Dellatorre et al. 2014). Considerando la importancia comercial de esta especie, no solo como alimento sino como materia prima para la extracción de compuestos de alto valor económico (fucooidanos, alginatos, fucoxantina, entre otros), esta presencia altera sustancialmente el escenario de potencial utilización comercial de los recursos algales de nuestras costas (Solana et al. 2014; Dellatorre and Solana 2015).

En este contexto, la Comisión Nacional de Alimentos (CONAL) ha incluido recientemente a las algas en el Artículo 923 del Código Alimentario Argentino, sin embargo las regulaciones sanitarias de los alimentos basados en algas se encuentran aún en discusión. Una de las variables sanitarias a considerar- en los productos marinos en general- y en las macroalgas en particular, es la posibilidad de concentrar algunos elementos de origen natural: esenciales en algunos casos para la nutrición humana como el calcio o el yodo y tóxicos en otros casos como el cadmio o el arsénico. Para uso del grupo de trabajo de Algas Comestibles de la CONAL se prepara este informe técnico. El objetivo general es relevar e integrar la información disponible acerca del contenido de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en *Undaria pinnatifida* y analizarla en el contexto de las recomendaciones de la OMS respecto de la ingestión de estos elementos y de la legislación vigente en diversos países.

## **Arsénico (As)**

En general los niveles de arsénico en la flora y fauna marinos son superiores a los presentes en los sistemas continentales (Uneyama et al. 2007), encontrándose generalmente entre 5 y 100 mg/kg

(Francesconi 2010) y siendo las algas marinas las que suelen presentar los contenidos de arsénico más elevados (Uneyama et al. 2007). El ingreso y concentración del arsénico en los organismos marinos se produce a través de su dieta y del agua de mar circundante, pudiendo acumularse mediante fenómenos de biomagnificación y/o bioacumulación (Francesconi 2010). De esta forma, los niveles de arsénico en algas marinas suelen ser entre mil y diez mil veces superiores a los niveles de arsénico en las aguas donde se han desarrollado, dependiendo de la especie de alga (Borak and Hosgood 2007). La conocida capacidad acumuladora de metales de las algas marinas conduce a la conveniencia de controlar los contenidos de ciertos elementos potencialmente tóxicos según la concentración y el nivel de ingesta (Singh et al. 2011).

El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente, el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como **arsénico inorgánico**. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como **arsénico orgánico**. Los compuestos inorgánicos suelen presentarse en forma de oxoaniones en disolución (arsenito As (III) y arseniato As (V)) y como óxidos, cloruros y sulfuros en fase sólida, o formando parte de minerales más complejos. Los compuestos orgánicos pueden ser formas metiladas, como ácido monometilarsónico (MMA(V)), ácido dimetilarsínico (DMA(V)), óxido de trimetilarsina (TMAO) e ión tetrametilarsonio (TETRA) o compuestos orgánicos más complejos, como arsenobetaína (AsB), arsenocolina (AsC), arsenoazúcares, arsenolípidos y compuestos de base proteica como metalotioneínas o fitoquelatinas (Andrewes et al. 2004).

Generalmente, el arsénico inorgánico es más tóxico que el orgánico. La toxicidad del arsénico disminuye al aumentar el grado de metilación (Leermakers et al. 2006) aunque la especie TETRA es una excepción. Con respecto al estado de oxidación, las formas trivalentes son más tóxicas que las

pentavalentes. De esta forma, el As (III) es la especie más tóxica, seguida de As (V), MMA y DMA. Según datos del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA 2011), las concentraciones de arsénico total y arsénico inorgánico en productos alimenticios como las algas marinas desecadas varían entre 0,114 y 236 mg/Kg para arsénico Total (t-As) y entre 0,1 a 130 mg/Kg para arsénico Inorgánico (i-As). En varias especies de algas marinas el i-As alcanza niveles normalmente inferiores a 2 mg/kg y representa entre 2-10 % del t-As, aunque en la especie comestible *Hizikia fusiforme* (Hijiki) el i-As puede representar más del 60 % del t-As y superar los 80 mg/Kg. En el alga *Undaria pinnatifida*, los valores de i-As reportados no superan 1,12 mg/Kg (promedio 0,42 mg/Kg) y no representa un porcentaje mayor que 2,4 % (promedio 1 %) del t-AS (Almela et al. 2002; Almela et al. 2006).

El caso del arsénico en algas es de importancia en la mayoría de las especies y requiere una atención particular. Tal es así que algunos países con consumo masivo de algas establecen regulaciones sanitarias específicas para las mismas, separándolas de los restantes alimentos. Las limitaciones legales sobre arsénico total en alimentos en general no son apropiadas para las algas, puesto que como se explicó anteriormente son especies acumuladoras primarias de arsénico en el medio ambiente marino. Por lo tanto, lo más adecuado para mantener la seguridad alimentaria sería limitar el contenido de especies tóxicas de arsénico en algas especialmente las inorgánicas (García Sartal 2012). Algunos países han adecuado sus normativas según este concepto (ver el apartado "Legislación Internacional").

### **Concentraciones reportadas de arsénico en *Undaria pinnatifida***

Dada la amplia utilización comercial de la especie *Undaria pinnatifida* y la importancia del arsénico en los aspectos sanitarios de sus productos derivados, abundan los reportes científicos acerca de la concentración de arsénico en la especie. Sin embargo en Argentina se cuenta con una sola

determinación publicada de t-As de especímenes de *U. pinnatifida* provenientes de los golfos Nuevo y San José y un informe de Ensayo elaborado por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial). Las concentraciones reportadas se detallan a continuación:

### **Concentraciones reportadas:**

- En Argentina, Casas y colaboradores (2010) obtuvieron valores de t-As en lámina, nervadura y esporofilo de *Undaria* silvestre extraída del Golfo Nuevo (Puerto Madryn) de 47,7 mg/kg, 25,3 mg/Kg y 54,6 mg/Kg peso seco respectivamente; y de la *Undaria* extraída en el Gofu San José se encontraron valores de 46,9 mg/Kg, 21,5 mg/Kg y 62,8 mg/Kg peso seco respectivamente.
- También en Argentina, un Informe de Ensayo del INTI del año 2009 (RUT N° 86-2386) estimó una concentración de t-As de 40 y 20 mg/kg de peso seco en “Tallo” y “Flor” de *Undaria* respectivamente. La muestra de *Undaria* provino de Puerto Madryn. No es posible determinar con certeza a que refieren las clasificaciones de “tallo” y “flor”.
- En España, Almela y colaboradores (2002) estudiaron el contenido de t-As y i-As en productos de góndola (wakame seco) y determinó rangos de concentraciones de 32-42 mg/kg peso seco para t-As y 0,15-0,26 mg/kg peso seco para el caso de i-As. El rango de i-As en proporción al t-As reportado es de 0,47-0,62 % respectivamente.
- En España, Almela y colaboradores (2006) estudiaron el contenido de t-As y i-As en diferentes productos de góndola de alga *Undaria*, wakame en salmuera (húmedo) y wakame seco. Para el wakame en salmuera (previamente liofilizada) determinaron valores de 45,2 mg/Kg peso seco de t-As y 0,185 mg/kg de i-As. Para el wakame seco encontraron rangos de t-As entre 28,0-46,2 mg/Kg peso seco y i-As <0,014-1,12 mg/Kg peso seco. La proporción de i-As respecto del t-As fue de 0,4 % en el wakame en salmuera, y varió en el rango de 0,03-2,42 % en el wakame seco.
- En Italia, Caliceti y colaboradores (2002) determinaron el contenido de t-As en muestras de *Undaria* proveniente de praderas naturales (planta entera) encontrando valores en el rango de 47-93 mg/kg peso seco.
- En España, García Salgado (2013) estimó para muestras de *Undaria* proveniente tanto de Japón como de España un rango de concentración de t-As que varió entre 33-40 mg/kg de peso seco.

- En Nueva Zelanda, Hau y colaboradores (2012) estudiaron los niveles de t-As en lámina y esporofilo de *Undaria* proveniente de praderas naturales. Los rangos de concentración para lámina y esporofilo fueron de 30,41-46,71 mg/Kg de peso seco y 23,84-32,84 mg/Kg peso seco respectivamente.
- En Japón, Yamada y colaboradores (2007) estudiaron el contenido de t-As en *Undaria* proveniente de praderas naturales (lámina). Reportaron valores de concentraciones en el rango de 7,11-19,2 mg/Kg de peso seco.
- García Sartal (2012) estimó un contenido de t-As de  $29,7 \pm 1,9$  mg/kg de peso Seco.
- En Japón, Nomura (1987) estudió el contenido de t-As en lámina y nervadura de *Undaria* en dos localidades reportando concentraciones para lámina en el rango de 24,7-56,1 mg/Kg de peso seco y para nervadura de 17,1-43,7 mg/Kg de peso seco.

### **Legislación Internacional**

- En Francia la legislación establece un nivel máximo de **i-As** en algas comestibles de 3 mg/Kg de producto seco (CEVA 2014).
- Australia y Nueva Zelanda establecen en sus legislaciones un nivel máximo de **i-As** de 1 mg/Kg de producto con un 85 % de humedad (ANZFA 1997).
- La European Food Safety Authority (EFSA) (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain 2009) en 2009 marcó un límite de 2 mg/kg para **i-As**, y 40 mg/kg para **t-As** en una masa algal con un 12 % de humedad.

### **Recomendaciones de la OMS**

El Comité Mixto FAO-OMS (Joint FAO/WHO Food Standards Programme 2015) establece valores de referencia para el i-As, en tanto que no regula el t-As. Este informe estipula una dosis límite de referencia (*benchmark dose limit*) para i-As de 3,0 µg/kg de peso corporal.

## **Implicancias sanitarias en el contexto OMS**

Es interesante remarcar que no hay en nuestro conocimiento estudios de los niveles de consumo de algas en países occidentales, por lo que la mayoría de las estimaciones de consumo están basadas en los consumos estimados para las poblaciones japonesas (García Salgado 2013).

Considerando que no hay reportes de determinaciones de i-As en *Undaria* proveniente de nuestras costas, podemos generar una estimación basada en la proporción de i-As respecto del t-As reportada previamente. Los trabajos de Almela y colaboradores (2002, 2006) son los únicos en nuestro conocimiento que reportan i-As en wakame. Las proporciones reportadas en ambos trabajos varían en el rango de 0,03/2,42 % de i-As respecto de t-As. El promedio de estos valores es de 0.98 %.

Una manera conservadora de estimar el i-As presente en el wakame de la Patagonia, sería utilizar la mayor proporción reportada por Almela y colaboradores (2002, 2006) que es 2,42 %. Considerando los valores de t-As reportados por Casas y colaboradores (2010), estas estimaciones serían de 1,13-1,15 mg/kg de i-As en lámina de *Undaria* (la materia prima para preparar wakame).

La ingesta promedio de algas pardas en Japón (uno de los más grandes consumidores a nivel mundial) se ha estimado en 2-3 g diarios de peso seco. Las máximas ingestas no superan los 12 g diarios en promedio (Sakurai et al. 1997).

Considerando estos niveles, la ingesta diaria de i-As sería de 3,46 o 13,85 µg para 3 o 12 g de consumo diario respectivamente. La OMS establece una ingesta diaria máxima tolerable (TDI) de 3 µg/kg de peso de una persona, y considerando un peso promedio de 70 kg **la ingesta diaria de i-As no superaría el 7 % de la TDI aún cuando el consumo fuese máximo.**

## **Cadmio (Cd)**

El cadmio es un elemento metálico que existe de manera natural a bajos niveles en el medio ambiente. Los alimentos, en lugar del aire o el agua, representan la principal fuente de exposición al cadmio. Sin embargo, el consumo de tabaco aumenta considerablemente los niveles de cadmio en el cuerpo. La exposición a largo plazo a altos niveles de cadmio puede conducir a la acumulación considerable tanto en el hígado como en los riñones -especialmente en la corteza renal-, lo que resulta obviamente en el daño de dichos órganos. Adicionalmente, el cadmio ha aumentado su presencia en el medio ambiente a través de la producción industrial del mencionado metal además del cadmio que se ha añadido a los suelos agrícolas mediante el uso de fertilizantes fosfatados y abonos (ANZFA 1999).

La presencia de cadmio (Cd) en los alimentos es el resultado de la bioacumulación del metal existente en el medio. La existencia natural de Cd en el medio puede magnificarse por la contaminación de suelos y aguas por actividades humanas. No sólo los cultivos agrícolas (especies, cereales, granos, nueces, legumbres y arroz) pueden acumular cadmio, sino que también se acumula en los tejidos de animales y vegetales ya sean estos terrestres o acuáticos. No obstante la Autoridad Sanitaria de Australia aclara que los alimentos de origen marino son fuentes menores de exposición al cadmio (ANZFA 2011) entre sus ciudadanos.

### **Concentraciones reportadas:**

- En Argentina, Casas y colaboradores (2010) obtuvieron valores de cadmio en lámina, nervadura y esporofilo de *Undaria* silvestre extraída del Golfo Nuevo (Puerto Madryn) de 1,0 mg/kg, 0,4 mg/Kg y 1,0 mg/Kg peso seco respectivamente; y de la *Undaria* extraída en el Gofu San José se encontraron valores de 5,9 mg/Kg, 2,6 mg/Kg y 7,6 mg/Kg peso seco respectivamente.

- En Argentina también, el Informe de Ensayo del INTI del año 2009 estimó una concentración de cadmio de 3 mg/kg de peso seco. La muestra de *Undaria* provino de Puerto Madryn. No es posible determinar con certeza a que refieren las clasificaciones de “tallo” y “flor”.
- En España, Almela y colaboradores (2002) estudiaron el contenido de cadmio en productos de góndola (lámina) determinando concentraciones en un rango de 0,13-1,9 mg/kg peso seco.
- En España, Almela y colaboradores (2006) estudiaron el contenido de cadmio de diferentes productos: en comprimidos donde el alga es utilizada como aditivo y en wakame (lámina), ambos productos de góndola. Determinaron en el primer caso rangos de concentraciones de <0,003-0,118 mg/kg peso seco y para el wakame rangos de cadmio entre el 0,227-2,15 mg/Kg peso seco.
- En Italia, Caliceti y colaboradores (2001) determinaron el contenido de cadmio en muestras de *Undaria* proveniente de praderas naturales (planta entera) encontrando valores de 0,1 mg/kg peso seco y menores a este.
- En España, García Salgado en 2013 estimó una concentración máxima de cadmio de 1,61 mg/Kg de peso seco. El rango de concentraciones varió entre 0,13-1,61 mg/kg de peso seco.
- En Nueva Zelanda, Hau y colaboradores (2014) estudiaron los niveles de cadmio en lámina y esporofilo de *Undaria* proveniente de praderas naturales. Los rangos de concentraciones para cada muestra fueron de 1,57-2,91 mg/Kg de peso seco y 1,51-2,2 mg/Kg peso seco respectivamente.
- En Croacia, Kolb y colaboradores (2004) estudiaron el contenido de cadmio en wakame (lámina) proveniente de Japón encontrando valores muy bajos. El valor hallado fue de  $0,28 \pm 0,06$  mg/Kg de peso seco.
- En Japón, Yamada y colaboradores (2007) estudiaron el contenido de cadmio en *Undaria* proveniente de praderas naturales (lámina) reportando concentraciones en el rango de 0,0466 - 1,257 mg/Kg de peso seco.

## **Legislación Internacional**

- En Francia su legislación establece un nivel máximo de cadmio en algas comestibles de 0,5 mg/Kg de producto seco (CEVA 2014).

- Australia y Nueva Zelanda establecen un nivel máximo de cadmio en algas comestibles de 0,2 mg/Kg de producto seco (Almela et al. 2006).
- La Unión Europea en 2008 ha fijado un contenido máximo de cadmio de 3,0 mg/kg peso fresco para los complementos alimenticios compuestos exclusiva o principalmente de algas marinas desecadas (Comunidad Europea 2008).

## **Recomendaciones de la OMS**

El Comité Mixto FAO-OMS (Joint FAO/WHO Food Standards Programme 2015) establece un límite para la ingesta mensual de 25 µg/kg de peso corporal.

## **Implicancias sanitarias en el contexto OMS**

Para una ingesta diaria de 3 gramos de algas (promedio en países orientales) y una concentración de 1 mg/kg peso seco de cadmio como calcularon Casas y colaboradores (2010) en *Undaria* del Golfo Nuevo (Puerto Madryn), la ingesta mensual de cadmio representaría el 5,14 % de lo establecido por la OMS para una persona de 70 kg de peso. Si la ingesta fuese de 12 gramos (máxima en países orientales) la ingesta mensual de cadmio representaría el 20,57 %.

## **Plomo (Pb)**

El plomo se encuentra en casi todas partes aunque las concentraciones son bajas en ambientes donde la actividad humana no es intensa. Las reducciones recientes en el uso del plomo en la gasolina, pintura, plomería y soldadura se han traducido en una reducción sustancial de los niveles de plomo en sangre de la población humana. El plomo es extremadamente nocivo para la salud y son las personas fumadoras quienes se encuentran más expuestas a la ingesta de este metal (WHO 2010). Para la población no fumadora, la mayor contribución a la ingesta diaria de plomo resulta de la ingestión de alimentos y la exposición a la suciedad y el polvo. En lo que a alimentos

se refiere, el plomo entra al organismo mayormente a través de vegetales, carnes, frutas, mariscos y vino, entre otros. La cantidad de plomo en plantas comestibles depende de la concentración de este metal en el suelo donde se hallen. Ésta, en general es más alta en suelos y aguas cercanas a minas y fundiciones. Son los cereales los que pueden contener altos niveles de plomo y, en mucha menor medida, las especias (WHO 2010).

### **Concentraciones reportadas:**

- En Argentina, Casas y colaboradores (Casas et al. 2010) analizaron el contenido de plomo en lámina, nervadura y esporofilo de *Undaria pinnatifida* silvestre extraída del Golfo Nuevo (Puerto Madryn) y del Golfo San José. Se encontraron valores menores a 3,0 mg/Kg de peso seco (límite de detección de la técnica analítica).
- El Informe de Ensayo del INTI del año 2009 estimó una concentración de plomo menor a 2 mg/kg de peso seco (límite de detección de la técnica analítica utilizada) tanto en “Tallo” como en “Flor” de *Undaria*. La muestra de *Undaria* provino de Puerto Madryn, Chubut, Argentina. No es posible determinar con certeza a que refieren las clasificaciones de “tallo” y “flor”.
- En España, Almela y colaboradores (2002) estudiaron el contenido de plomo en productos de góndola (lámina) y determinaron que todas las concentraciones eran menores a 0,05 mg/kg peso seco (límite de detección de la técnica analítica).
- En España, Almela y colaboradores (2006) estudiaron el contenido de plomo de diferentes productos: en comprimidos donde el alga es utilizada como aditivo y en wakame (lámina), ambos productos de góndola. Determinaron en el primer caso rangos de concentraciones de <0,05-0,440 mg/kg peso seco y para el segundo (wakame) entre <0,05-2,44 mg/Kg peso seco.
- En Italia (Venecia), Caliceti y colaboradores (2001) determinaron el contenido de plomo en muestras de *Undaria* proveniente de praderas naturales (planta entera) encontrando valores en el rango de 0,5-4,0 mg/kg peso seco.
- En España (Madrid), los estudios realizados por García Salgado en 2013 no pudieron determinar un nivel de plomo específico pero estimaron que se hallaba por debajo de los 0,6 mg/kg de peso seco.

- En Nueva Zelanda, Hau y colaboradores (2014) estudiaron los niveles de plomo en lámina y esporofilo de *Undaria* proveniente de praderas naturales. Los rangos de concentración reportados fueron de 0,22-0,31 mg/Kg de peso seco y 0,14-0,29 mg/Kg peso seco, respectivamente.
- En Croacia, Kolb y colaboradores (2004) estudiaron el contenido de plomo en wakame (lámina) proveniente de Japón. Reportaron valores de  $0,79 \pm 0,15$  mg/Kg de peso seco.
- En Japón, Yamada y colaboradores (Yamada et al. 2007) estudiaron el contenido de plomo en *Undaria* proveniente de praderas naturales (lámina) reportando concentraciones en el rango de 0,14- 3,53 mg/Kg de peso seco.

### **Legislación Internacional**

- La legislación Francesa establece un nivel máximo de plomo de 5 mg/Kg de producto seco (CEVA 2014).
- *España* es más estricta y su legislación establece un nivel máximo de plomo de 1 mg/Kg de producto seco (Boletín Oficial 1978).
- La Unión Europea en 2008 ha fijado un contenido máximo de plomo de 0,1 mg/kg peso fresco para las algas marinas (Comunidad Europea 2008).
- China en 2014 estableció un límite de plomo de 0,1 mg/kg de peso seco para algas y productos a base de algas (Global Agricultural Information Network 2014).

### **Recomendaciones de la OMS**

El Comité Mixto FAO-OMS decidió en el año 2010 (Joint FAO/WHO Food Standards Programme 2015) retirar la tasa límite de ingesta de plomo al determinarse que la anteriormente establecida (ingesta semanal de 25 µg/kg de peso corporal) era perjudicial para la salud. Aún no se ha establecido un nuevo límite.

### **Implicancias sanitarias en el contexto OMS**

Para una ingesta diaria de 3 g de algas y aun considerando que la *Undaria* de la Patagonia tuviese el límite máximo de 3 mg/kg peso seco de plomo (nivel mínimo de detección no alcanzado en

(Casas et al. 2010), la ingesta semanal de plomo representaría el 3,6 % de lo anteriormente establecido por la OMS para una persona de 70 kg de peso. Si la ingesta diaria fuese de 12 gramos la ingesta semanal de plomo representaría el 14,4 %.

## **Mercurio (Hg)**

La toxicidad y consecuencias en la salud humana resultantes de la ingesta de mercurio se han puesto de manifiesto en numerosos informes de evaluación de riesgo a nivel internacional desde que se documentó su toxicidad por primera vez. La especie orgánica del mercurio -el metilmercurio (MeHg)- es la forma química más tóxica y afecta sobre todo al sistema nervioso central en desarrollo, de ahí que la población más sensible a este metal sean los niños pequeños. El MeHg se produce por la metilación del mercurio inorgánico resultado de la actividad microbiana y este fenómeno ocurre mayormente en los sedimentos de agua dulce y marinos. El metilmercurio es concentrado, entre otros, por organismos filtradores sobre los que posteriormente depredan los peces y que por consiguiente acumulan en sus tejidos. En general la dieta es la principal fuente de exposición humana al mercurio y los alimentos provenientes del mar son los que contienen específicamente los valores más altos, principalmente en la forma de metilmercurio (ANZFA 1999).

### **Concentraciones reportadas:**

- En Argentina, Casas y colaboradores (Casas et al. 2010) obtuvieron valores de mercurio en lámina, nervadura y esporofilo de *Undaria* silvestre extraída del Golfo Nuevo (Puerto Madryn) de 0,113 mg/kg, 0,031 mg/Kg y 0,023 mg/Kg peso seco respectivamente; y de la *Undaria* extraída en el Gofo San José se encontraron valores de 0,022 mg/Kg, 0,025 mg/Kg y 0,052 mg/Kg peso seco.
- En España, Almela y colaboradores (2002) estudiaron el contenido de mercurio en productos de góndola (lámina) y determinaron concentraciones en un rango de 0,012-0,023 mg/kg peso seco.

- En Nueva Zelanda, Hau y colaboradores (2014) estudiaron los niveles de mercurio en lámina de *Undaria* proveniente de praderas naturales. El rango de concentraciones hallado fue de 0,021-0,042 mg/Kg peso seco.
- En Croacia, Kolb y colaboradores (2004) estudiaron el contenido de mercurio en wakame (lámina) proveniente de Japón. El valor reportado fue de  $0,22 \pm 0,03$  mg/Kg de peso seco.
- En Japón, Yamada y colaboradores (2007) estudiaron el contenido de mercurio en *Undaria* proveniente de praderas naturales (lámina). Reportaron valores de concentraciones en el rango de 0,077 - 0,15 mg/Kg de peso seco.

### **Legislación Internacional**

- En Francia la legislación establece un nivel máximo de mercurio de 0,1 mg/Kg de producto seco (CEVA 2014).
- La Unión Europea en 2008 ha fijado un contenido máximo de mercurio de 0,1 mg/kg peso seco entendiendo las algas como suplementos dietarios. El máximo se aplica al complemento alimenticio comercializado (Comunidad Europea 2008).

### **Recomendaciones de la OMS**

El Comité Mixto FAO-OMS (Joint FAO/WHO Food Standards Programme 2015) estableció los siguientes límites para la ingesta de metilmercurio y mercurio Inorgánico:

- Metilmercurio: Ingesta semanal de 0,0016 mg/kg Peso Corporal
- Mercurio Inorgánico: Ingesta semanal de 4 µg/kg Peso corporal

### **Implicancias sanitarias en el contexto OMS**

Para una ingesta diaria de 3 g de algas, considerando que el nivel de Hg en la especie *U. pinnatifida* de la Patagonia fuese el más elevado posible según lo reportado por Casas y colaboradores (2010) y que todo ese mercurio correspondiese a la especie más tóxica (metilmercurio), la ingesta semanal de mercurio representaría el 2,11 % de lo establecido por la OMS para una persona de 70

kg de peso. Si la ingesta diaria fuese de 12 gramos, la ingesta semanal de mercurio representaría el 8,47 %.

Tabla 1. Niveles de As, Cd, Pb y Hg en *Undaria pinnatifida* (Wakame) expresados en mg/Kg de peso seco

Autor	Origen	Producto	Arsénico Total	Arsénico inorgánico	Cadmio	Plomo	Mercurio
<b>REPORTES EN ARGENTINA</b>							
Casas et al., 2010	Golfo Nuevo (Chubut)	Lámina	47,70	n.r.	1,00	<3,00	0,113
		Nervadura	25,30	n.r.	0,4	<3,00	0,031
		Esporofilo	54,60	n.r.	1,00	<3,00	0,023
	Golfo San José (Chubut)	Lámina	46,90	n.r.	5,9	<3,00	0,022
		Nervadura	21,50	n.r.	2,6	<3,00	0,025
		Esporofilo	62,80	n.r.	7,6	<3,00	0,052
INTI (RUT N° 86-2386)	Golfo San José (Chubut)	"Tallo"	40	n.r.	3,00	<2,00	n.r.
		"Flor"	20	n.r.	3,00	<2,00	n.r.
<b>REPORTES INTERNACIONALES</b>							
Almela et al., 2002	España	Wakame seco	32,0-42,0	0,15-0,26	0,13-1,9	<0,05	0,012-0,023
Almela et al., 2006	España	Wakame (en salmuera y aditivos)	45,2	0,185	0,003-0,118	<0,05-0,44	n.r.
	España	Wakame seco	28,0-46,2	0,014-1,120	0,227-2,15	<0,05-2,44	n.r.
Caliceti et al., 2002	Italia	Planta entera	47-93	n.r.	<0,1-0,1	0,5-4,0	n.r.
García Salgado, 2013	Japón	n.r.	33-40	n.r.	0,13-1,61	<0,60	n.r.
Hau, 2012	Nueva Zelanda	Lámina	30,41-46,71	n.r.	1,57-2,91	0,22-0,31	0,021-0,041
		Esporofilo	23,84-32,84	n.r.	1,51-2,20	0,14-0,29	n.r.
Kolb et al., 2004	Japón	Lámina	n.r.	n.r.	0,28 ± 0,06	0,79 ± 0,15	0,22±0,03
Yamada et al., 2007	Japón	Planta entera	7,11-19,2	n.r.	0,046-1,257	0,14-0,27	0,077-0,150
García Sartal, 2012	España	n.r.	29,7 ± 1,9	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Nomura, 1987	Japón	Lámina	24,7-56,1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Japón	Nervadura	17,1-43,7	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.

Esta tabla integra los valores de concentración de los distintos metales (en mg/kg) reportados en cada sección. El término "wakame" refiere a los distintos productos procesados. Los otros términos utilizados para clasificar los productos refieren al alga como materia prima, separada en sus distintos tejidos (lámina, nervadura y esporofilo) o integrada (planta entera). Los valores numéricos indican la media (un solo valor), el rango (dos valores separados por el símbolo "-") o la media y su desvío estándar (dos valores separados por el símbolo "±") según reporta cada autor. "n.r." indica no reportado por el autor.

## CONCLUSIÓN

El presente informe integra y analiza la información acerca del contenido de metales pesados reportado en publicaciones científicas para el alga *U. pinnatifida* y sus productos alimenticios derivados (wakame) provenientes de distintas partes del mundo. Los contenidos reportados son discutidos en el marco de las ingestas máximas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud y de la normativa de diversos países o regiones.

Considerando que las algas han sido recientemente incorporadas al Código Alimentario Argentino en su Art 923 es conveniente resaltar como conclusión general que, la especie *U. pinnatifida* y sus productos derivados no son reportados en ninguna de las publicaciones relevadas como amenazas sanitarias en relación con su contenido de metales pesados. Sin embargo, la especie concentra naturalmente cadmio y arsénico. Aunque este proceso tiene una leve influencia del ambiente, todas las publicaciones reportan concentraciones cercanas a 1 mg/kg (en peso seco) de cadmio y 40 mg/kg (en peso seco) de arsénico en los tejidos del alga *U. pinnatifida*. El arsénico contenido en el alga, como en la mayoría de los alimentos marinos, es principalmente orgánico. Los escasos estudios que diferencian el arsénico inorgánico del orgánico reportan una proporción cercana al 1% del primero respecto del total. Tanto los marcos normativos como la OMS establecen que las formas tóxicas son las formas inorgánicas del arsénico.

Las regulaciones sanitarias de distintos países establecen límites muy diversos que, en algunos casos, podrían interpretarse como barreras para-arancelarias. Los productos de algas que actualmente se comercializan en nuestro país son principalmente de origen importado y, según nuestro conocimiento, no se someten a control sanitario interno.

En su mayoría, las proyecciones realizadas en base a consumos del alga *U. pinnatifida* proveniente de la Patagonia a niveles máximos reportados para poblaciones japonesas (intensos consumidores de algas en general y de wakame en particular) no superan el 20% de las ingestas máximas sugeridas por la OMS. Solo el cadmio incorporado mediante el consumo de wakame a niveles extremos de consumo en Japón alcanzaría el 20,57 % de la ingesta máxima sugerida por la OMS.

Por lo tanto concluimos que: la evidencia científica disponible no sugiere que la especie *U. pinnatifida* extraída de las costas patagónicas ni sus productos alimenticios derivados constituyan un factor de riesgo para la salud pública. La capacidad de esta especie -y de otros recursos algales utilizados como alimento- de concentrar metales pesados es, al día de hoy, objeto de un importante interés científico impulsado precisamente por las aplicaciones comerciales que estas algas tienen. Los recursos algales de nuestra región en particular representan una fuente potencial de desarrollo pesquero, desarrollo que se vería beneficiado por estudios más profundos acerca de los contenidos de metales pesados.

### **Información de los Autores**

Miguel Lupiano – Licenciado en Ciencias Biológicas.  
Profesional del Centro INTI-CHUBUT.  
[mlupiano@inti.gob.ar](mailto:mlupiano@inti.gob.ar)

Valeria Paola Solana – Ingeniera Pesquera.  
Becaria Doctoral y Docente de la UTN Facultad Regional Chubut.  
[valeriasolana23@gmail.com](mailto:valeriasolana23@gmail.com)

Fernando Gaspar Dellatorre – Doctor en Biología.  
Docente Investigador de la UTN Facultad Regional Chubut. Investigador CONICET (CESIMAR-CENPAT). Docente de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
[dellatorre@cenpat-conicet.gob.ar](mailto:dellatorre@cenpat-conicet.gob.ar)

## BIBLIOGRAFÍA

- Almela C, Algora S, Benito V, Clemente MJ, Devesa V, Suñer MA, Vélez D, Montoro R (2002) Heavy Metal, Total Arsenic, and Inorganic Arsenic Contents of Algae Food Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 918-923
- Almela C, Clemente MJ, Velez D, Montoro R (2006) Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain. *Food and Chemical Toxicology* 44: 1901-1908
- Andrewes P, DeMarini DM, Funasaka K, Wallace K, Lai VWM, Sun H, Cullen WR, Kitchin KT (2004) Do arsenosugars pose a risk to human health? The comparative toxicities of a trivalent and pentavalent arsenosugar. *Environmental science & technology* 38: 4140-4148
- ANZFA (1997) Food Standards Code, Issue 121. Australia New Zealand Food Authority, Australia
- ANZFA (1999) The 19th Australian Total Diet Survey. A total diet survey of pesticide residues and contaminants. Australia New Zealand Food Authority, Canberra, Australia
- ANZFA (2011) The 23<sup>rd</sup> Australian Total Diet Survey. Australia New Zealand Food Authority, Canberra, Australia
- Boletín Oficial (1978) Real Decreto 2420/1978, de 2 de junio, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración y venta de conservas vegetales, España
- Borak J, Hosgood HD (2007) Seafood arsenic: Implications for human risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 47: 204-212
- Caliceti M, Argese E, Sfriso A, Pavoni B (2002) Heavy metal contamination in the seaweeds of the Venice lagoon. *Chemosphere* 47: 443-454
- Casas G, Gil MN, Commendatore MG, Torres AI (2010) Evaluación de la composición químico-nutricional y del nivel de metales pesados e hidrocarburos en *Undaria pinnatifida* de los golfos San José y Nuevo, Chubut. Dirección General de Promoción Científica y Técnica de la Provincia de Chubut, Puerto Madryn, Argentina
- CEVA (2014) Edible seaweed and French regulation - Synthesis made by CEVA (31/03/2014), Francia
- Comunidad Europea (2008) REGLAMENTO (CE) No 629/2008 DE LA COMISIÓN - L 137/6, Bruselas, Bélgica
- Chen Z, Xu Y, Liu T, Zhang L, Liu H, Guan H (2016) Comparative Studies on the Characteristic Fatty Acid Profiles of Four Different Chinese Medicinal *Sargassum* Seaweeds by GC-MS and Chemometrics. *Marine Drugs* 14: 68
- D'Orazio N, Gemello E, Gammone MA, de Girolamo M, Ficoneri C, Riccioni G (2012) Fucoxantin: A Treasure from the Sea. *Marine Drugs* 10: 604-616
- Dellatorre FG, Amoroso R, Saravia J, Orensanz JM (2014) Rapid expansion and potential range of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* in the Southwest Atlantic. *Aquatic Invasions* 9: 467-478

- Dellatorre FG, Amoroso RO, Barón PJ (2012) El alga exótica *Undaria pinnatifida* en Argentina: biología, distribución y potenciales impactos. Editorial Académica Española - LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany. 51 pp.
- Dellatorre FG, Solana VP (2015) El alga invasora *Undaria pinnatifida*: una oportunidad de innovación en productos pesqueros de la región Patagónica BIOECONOMIA ARGENTINA 2015. El potencial de las regiones - Patagonia. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, Puerto Madryn, Argentina
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (2009) Scientific Opinion on Arsenic in Food. EFSA Journal 7: 1351
- FAO (2014) El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Roma, Italia. 223 pp.
- FAO (2016) Fisheries and aquaculture software. FishStatJ - software for fishery statistical time series
- Fitton JH, Stringer DN, Karpiniec SS (2015) Therapies from fucoidan: An update. Marine Drugs 13: 5920-5946
- Francesconi KA (2010) Arsenic species in seafood: Origin and human health implications. Pure and Applied Chemistry 82: 373-381
- García Salgado S (2013) Estudios de especiación de arsénico y acumulación de metales en muestras de interés medioambiental. Tesis Doctoral. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Obras Públicas
- García Sartal C (2012) Biodisponibilidad y Especiación del Arsénico en las Algas Marinas. Tesis doctoral. Facultad de Química
- Global Agricultural Information Network (2014) China's Maximum Levels for Contaminants in Foods. U.S. Department of Agriculture
- Hau L (2012) Metals in New Zealand *Undaria pinnatifida* (Wakame). School of Applied Science, Auckland, New Zealand
- JECFA (2011) Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 72<sup>nd</sup> Meeting Report - N° 959 Rome, Italy
- Joint FAO/WHO Food Standards Programme (2015) CODEX Committee on Contaminants in Foods - 8<sup>th</sup> Session
- Leermakers M, Baeyens W, De Gieter M, Smedts B, Meert C, De Bisschop HC, Morabito R, Quevauviller P (2006) Toxic arsenic compounds in environmental samples: Speciation and validation. Trends in Analytical Chemistry 25: 1-10
- Nomura Y, Oishi K (1987) Distribution of arsenic in fronds wakame *Undaria pinnatifida* (collected in Japan). Bulletin of the Faculty of Fisheries-Hokkaido University (Japan)
- Pereira H, Barreira L, Figueiredo F, Custódio L, Vizetto-Duarte C, Polo C, Rešek E, Engelen A, Varela J (2012) Polyunsaturated Fatty Acids of Marine Macroalgae: Potential for Nutritional and Pharmaceutical Applications. Marine Drugs 10: 1920-1935
- Sakurai T, Kaise T, Ochi T, Saitoh T, Matsubara C (1997) Study of in vitro cytotoxicity of a water soluble organic arsenic compound, arsenosugar, in seaweed. Toxicology 122: 205-212

- Singh R, Gautam N, Mishra A, Gupta R (2011) Heavy metals and living systems: An overview. *Indian Journal of Pharmacology* 43: 246–253
- Solana VP, Nievas El Makte M, Dellatorre FG (2014) Oportunidades de innovación en productos pesqueros de la región Patagónica: pesca y procesamiento de *Undaria pinnatifida* para la elaboración de wakame en Puerto Madryn. In: Bustelo C (ed) VII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial. edUTecNe, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. ISBN 978-987-1896-39-4.
- Uneyama C, Toda M, T Yamamoto M, Morikawa K (2007) Arsenic in various foods: Cumulative data. *Food Additives and Contaminants* 24: 447-534
- WHO (2010) Preventing disease through healthy environments - Exposure to lead: a major public health concern. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- Yamada M, Yamamoto K, Ushihara Y, Kawai H (2007) Variation in metal concentrations in the brown alga *Undaria pinnatifida* in Osaka Bay, Japan. *Phycological Research* 55: 222-230