

# DETERMINACIÓN DE METALES Y ELEMENTOS TRAZA EN ALGAS: EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y TOXICOLÓGICA

Tesis Doctoral

Soraya Paz Montelongo

Director/Tutor

Arturo Hardisson de la Torre

Co-directora

Inmaculada Frías Tejera

2018



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Verificado ANECA, Resol. 19-3-2014

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

Departamento de Obstetricia, Ginecología, Pediatría, Medicina Preventiva y Salud  
Pública, Toxicología y Medicina Legal y Forense y Parasitología

*Área de Toxicología*

**TESIS DOCTORAL**

**DETERMINACIÓN DE METALES Y ELEMENTOS TRAZA EN  
ALGAS: EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y TOXICOLÓGICA**

Soraya Paz Montelongo

Director:

Arturo Hardisson de la Torre

Co-directora:

Inmaculada Frías Tejera

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Arturo Hardisson de la Torre, Catedrático de Toxicología de la Universidad de La Laguna y M<sup>a</sup> Inmaculada Frías Tejera, Profesora Asociada de Medicina Legal y Forense de la Universidad de La Laguna.

**CERTIFICAN QUE:**

La Tesis Doctoral titulada *Determinación de Metales y Elementos Traza en Algas: Evaluación Nutricional y Toxicológica* presentada por Dña. Soraya Paz Montelongo ha sido realizado bajo nuestra dirección en el Área de Toxicología de la Universidad de La Laguna y, considerándola concluida, autorizamos su defensa ante el Tribunal correspondiente.

Y para que conste y surta los efectos oportunos donde convenga, firmamos el presente certificado en San Cristóbal de La Laguna a 24 de septiembre de 2018.

Fdo: Arturo Hardisson de la Torre

Fdo: Inmaculada Frías Tejera

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Agradecimientos*

*A mi director, el Dr. Arturo Hardisson de la Torre, a quién tengo tanto que agradecer.*

*La oportunidad de realizar mi Tesis Doctoral bajo su dirección me ha permitido disfrutar de su experiencia y conocimientos, sus consejos, sus enseñanzas, su comprensión, su tiempo y, hasta de su amistad. El prof. Hardisson es más que un director, es un tutor, un mentor, siempre dispuesto a escucharme y orientarme.*

*A mi codirectora, la Dra. Inmaculada Frías Tejera, por su constante disponibilidad y sus consejos durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral.*

*Al Dr. Ángel J. Gutiérrez Fernández, por su inestimable ayuda, su cercanía en todo momento y por todo el tiempo que me ha dedicado.*

*A la Dra. Carmen Rubio Armendáriz, por compartir su experiencia, sus valiosos consejos y por toda la atención y orientación que con cariño me ha brindado durante estos años.*

*A la Dra. Consuelo Revert Gironés, por su cercanía y cariño y por su especial apoyo en los momentos difíciles.*

*Al Dr. Dailos González-Weller, al Dr. José M. Caballero Mesa y la Dra. Gara Luis González, por compartir conmigo su experiencia y ofrecerme su apoyo.*

*Al Dr. Guadalberto Hernández, por su amabilidad, cercanía y por toda la ayuda recibida en estos últimos meses.*

*A Dario Sangiuliano y a Ilaria Olivari, por su amistad y por todos esos momentos que pasamos en el laboratorio.*

*Y, por último, a mi familia, por todo su apoyo.*

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



# Índice



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## Índice

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. REVISIÓN Y ANTECEDENTES.....	6
2.1. Historia de las Algas .....	6
2.2. Composición de las algas.....	10
2.2.1. Macronutrientes, micronutrientes y minerales .....	11
2.2.2. Otros componentes.....	13
2.3. Beneficios y posibles efectos perjudiciales .....	14
2.4. Consumo de algas en Europa.....	15
2.5. Metales y elementos estudiados.....	16
2.5.1. Metales y elementos esenciales.....	18
2.5.2. Metales tóxicos y/o no esenciales .....	41
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	58
3.1. Muestras.....	58
3.2. Métodos analíticos y tratamiento de las muestras .....	61
3.2.1. Determinación del contenido metálico por espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).....	62
3.2.2. Determinación de mercurio por espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS).....	66
3.2.3. Determinación de yodo por valoración de oxidación – reducción.....	69
3.3. Cálculo de la ingesta diaria estimada (IDE) y porcentaje de contribución (%)	73
3.4. Análisis estadístico.....	73

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	75
4.1. Concentración de metales en las muestras de algas comerciales analizadas .....	75
4.2. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes recolectadas en la isla de Tenerife .....	79
4.2.1. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Phaeophyta .....	79
4.2.3. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Rhodophyta .....	82
4.2.4. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Chlorophyta.....	84
4.2.5. Comparación del contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos entre las diferentes especies de algas salvajes analizadas .....	88
4.3. Comparación del contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos entre las algas comerciales y las salvajes .....	92
4.4. Contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos por zonas.....	94
4.5. Correlaciones intermetálicas Cd/Zn.....	98
4.6. Concentración de yodo en las muestras de algas comerciales y salvajes analizadas .....	99
4.7. Evaluación de la ingesta dietética .....	101
4.7.1. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas comerciales .....	103
4.7.2. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas salvajes	105

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4.7.3. Comparación de la ingesta dietética de metales entre las algas comerciales y las algas salvajes analizadas ..... 111

4.7.4. Ingesta dietética de yodo procedente del consumo de las algas analizadas 112

5. CONCLUSIONES..... 115

6. REFERENCIAS ..... 119

ABREVIATURAS ..... 149

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714 Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 25/09/2018 12:13:19
Arturo Hardisson de la Torre UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	25/09/2018 12:18:09
María Inmaculada Frías Tejera UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	25/09/2018 12:20:09



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Hoy día las algas se comercializan como fuente de ciertos nutrientes. Desde la antigüedad, las algas constituyen un alimento básico en la dieta de países asiáticos, tales como China, Japón o Tailandia. Sin embargo, éstas tienen, también, una importancia relevante en países europeos como España, siendo Galicia una de las mayores productoras de algas, o en la República de Irlanda, donde las algas juegan un importante papel en la dieta irlandesa y en sus costumbres. Actualmente, debido a las corrientes migratorias, a la globalización y a los nuevos hábitos alimenticios, las algas son cada vez más comunes en los mercados y comercios de Europa.

La dieta es la principal vía de exposición de contaminantes para el ser humano. Los metales, como los macroelementos y algunos elementos traza, que pueden encontrarse de forma natural en los alimentos, son esenciales para el organismo humano, interviniendo en múltiples reacciones y funciones fisiológicas. Otros, como los metales tóxicos, que llegan a los alimentos por fuentes antropogénicas (uso de fertilizantes, actividad industrial, plaguicidas o biocidas, aguas residuales, etc) o por fenómenos naturales (erosión, actividad volcánica, etc), son de naturaleza acumulativa y no presentan función alguna en el organismo, siendo dañinos para la salud.

Dadas las cualidades nutricionales de las algas y al hecho de que las Islas Canarias cuentan con una gran diversidad de estas especies marinas que pueden ser o no potencialmente comestibles, es necesario determinar el grado de contaminación de estas algas, así como el contenido en elementos esenciales. Además, teniendo en cuenta que las algas por su gran capacidad de absorción de metales tóxicos son un bioindicador de contaminación marina (Herrera-Paz et al., 2015), es necesario conocer su contenido en las mismas pues, éste puede contrarrestar su valor nutricional.

1

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

Por otro lado, existe hoy día la tendencia de una parte de la población mundial a adoptar dietas vegetarianas del más variado tipo, en la creencia de que estas formas de alimentarse son un beneficio para la salud de los consumidores y que las dietas omnívoras presentan riesgos. Por este motivo, es necesario valorar la composición química tanto de los elementos de carácter nutricional como de los contaminantes presentes en estos vegetales, para poder compararla con los alimentos vegetales tradicionales y establecer científicamente las diferencias.

Nuestro propósito, por tanto, es desmitificar las presuntas propiedades salutíferas de estos alimentos, y una vez más defender una dieta equilibrada como garante de la prevención de muchas enfermedades.

Por estos motivos, se ha realizado este estudio cuyo principal objetivo es determinar el contenido de macroelementos (Na, K, C, Mg), elementos traza (Cu, Cr, Co, Zn, Fe, Mn, Mo, Li, Ni, B, Ba, V, Sr, I) y metales tóxicos (Al, Cd, Pb, Hg) en muestras de algas de diferentes tipos, procedentes de Europa y China, así como en algas recolectadas en Canarias con el objeto de evaluar el perfil nutricional y el riesgo toxicológico derivado del consumo de estas algas.

Así mismo, se establecen como objetivos específicos los enumerados a continuación:

- I. Estudiar la existencia de diferencias significativas entre el contenido de elementos esenciales y tóxicos en diferentes especies de algas.
- II. Estudiar la existencia de diferencias significativas entre el contenido de elementos esenciales y tóxicos de acuerdo a su origen geográfico (europeas o asiáticas).
- III. Establecer el perfil nutricional de los elementos esenciales en las diferentes especies de algas en base a su contribución a las ingestas diarias recomendadas (IDRs).

2

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- IV. Determinar el grado de contaminación de las diferentes especies de algas de distintas procedencias (europeas y asiáticas).
- V. Determinar la contaminación de las algas de la isla de Tenerife teniendo en cuenta las distintas zonas de recolección.
- VI. Comparar las concentraciones de elementos esenciales y tóxicos de las algas comestibles actualmente comercializadas en Europa con las algas recogidas en la isla de Tenerife, comestibles, pero actualmente no comercializadas, con el objeto de determinar si son idóneas para el consumo humano.

La presente tesis, desarrollada en el Área de Toxicología de la Universidad de La Laguna, está precedida por numerosos trabajos y otras tesis doctorales en los que diferentes alimentos de origen vegetal han sido objeto de estudio.

Ejemplos recientes son la tesis doctoral titulada “*Metales en harinas fabricadas en Canarias. Evaluación nutricional y toxicológica*” defendida en septiembre de 2017 por la Dr. Raquel L. Tejera Pérez (Tejera Pérez, 2017) y la tesis doctoral titulada “*Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife: evaluación toxicológica*” defendida en 2014 por la Dr. Gara Luis González (Luis González, 2014). Estos trabajos en los que se determina el contenido de metales en alimentos vegetales suponen un valioso aporte en la comparación del contenido metálico con las algas, que son productos vegetales marinos.

Es destacable también, el trabajo de investigación titulado “*Determinación de metales en Tofu. Evaluación Nutricional y Toxicológica*” que ha obtenido el Premio de la Real Academia de Medicina de Tenerife y del que ha sido presentada una comunicación al congreso internacional “*BTS Annual Congress*” organizado por la British Toxicology Society y celebrado en Newcastle (Reino Unido) en abril de 2018 (Paz et al., 2018a). Este

3

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

trabajo guarda una gran relación con las algas dado que, tanto el tofu como las algas son alimentos básicos dentro de la dieta vegana, encontrándose tofus que contienen algas.

Así mismo, pueden encontrarse trabajos publicados en revistas indexadas en el JCR (*Journal of Citation Report*) como “*Metals in edible seaweeds*” publicado en la revista *Chemosphere* en el 2017 (Rubio et al., 2017a), en el que se determina el contenido de metales en algas comerciales, otros como el titulado “*Trace element and toxic metal intake from the consumption of canned mushrooms marketed in Spain*” publicado en la revista *Environmental Monitoring and Assessment* en el 2018 (Rubio et al., 2018a). Por último, el artículo titulado “*Metal Concentrations in Wild-Harvested Paheophyta Seaweed from the Atlantic Ocean (Canary Islands, Spain)*” publicado en la revista *Journal of Food Protection* en 2018, en el que se recoge parte de los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral (Paz et al., 2018b).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

# Revisión y Antecedentes



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## 2. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

### 2.1. Historia de las Algas

Las algas son uno de los productos básicos en la alimentación de países asiáticos como China, Tailandia, Japón o Corea. Otros países europeos, como Irlanda o zonas de España, como Galicia, se caracterizan por usar éstas con fines alimenticios.

Aunque se cree que las algas han sido usadas como alimento desde el 2700 antes de Cristo en China, la primera evidencia del uso de algas como alimento se encuentra en China y data del siglo VI a.C. Esta evidencia se recoge en unas palabras escritas por Sze Tsu en las que hace referencia a las algas diciendo que “las algas son una delicadeza apropiada para el más honorable de los invitados”. Posteriormente, Chi Han en el siglo IV a.C, escribe un libro sobre las algas comestibles. Algunas de las especies más usadas en China ha sido la *Laminaria japonica* que fue importada de Japón en el siglo V.

En cuanto al uso de las algas en Europa, se conoce que las algas del mar Mediterráneo eran comúnmente usadas en Medicina en la época de los griegos y romanos (Pooja, 2014).

Algunas especies de algas, sobre todo las algas rojas eran usadas como agentes desecantes y para el tratamiento de parásitos. La razón por la cual las algas podían ser usadas con fines medicinales se debe a su composición. Desde el 100 a.C, los griegos usaban también las algas como alimento para los animales.



Figura 1. Ilustración de varias especies de algas

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

En la República de Irlanda, las algas eran recogidas y usadas por los granjeros como fertilizante de los suelos de cultivo, este uso se ha mantenido a día de hoy siendo muy común ver como los granjeros irlandeses recolectan algas de las costas.



**Figura 2.** Recolección de algas en las costas irlandesas

Es precisamente en Irlanda donde se encuentra una de las algas más consumidas, el “alga dulce” (Palmaria) o *Creathnach*, que es el nombre en irlandés. Esta especie de alga perteneciente a las algas rojas es una de las variedades más antiguas usadas como alimento desde el 961 a.C.

En las Islas Canarias, situadas en el Océano Atlántico, las algas abundan. Antiguamente, en Canarias las algas eran usadas como alimento para animales de granja, o incluso hoy en día, algunas especies como la *Cystoseira abies-marina* se usan para dar un olor fresco al pescado que se expone en las lonjas pesqueras de las islas (Haroun et al., 2003), o como abono orgánico (Díaz-Pérez et al., 1988).

Desde el punto de vista biológico, las algas son organismos autótrofos que son capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. Aunque se refieren a las algas como “plantas marinas”, este concepto es completamente erróneo dado que la principal diferencia entre las algas y las plantas es la ausencia de raíces en las algas, las cuales presentan unas terminaciones (en inglés “holdfast”) que les permite fijarse a rocas, pero, a diferencia de

7

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

las raíces, no absorben nutrientes a través de ellas, simplemente les sirve para su fijación sobre un sustrato.

Pertencientes al reino Protista, las algas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- **Cianobacterias o algas azules**, entre las que puede encontrarse la *Spirulina*, una cianobacteria muy conocida y consumida por su alto contenido en  $\beta$  – caroteno, un antioxidante que se metaboliza en vitamina A.

Sin embargo, las cianobacterias son más conocidas por su toxicidad y sus graves consecuencias sobre el ecosistema.

Las proliferaciones de cianobacterias o “blooms” son muy comunes en aguas muy eutrofizadas (por su mayor contenido en fosfatos, nitratos, etc.) (Anderson et al., 2002). El principal problema de la proliferación de éstas radica en la producción de toxinas tras el metabolismo de las cianobacterias. Estas toxinas pueden ser citotóxicas, hepatotóxicas o neurotóxicas (Pilotto et al., 1997; Zurawell et al., 2005). En las Islas Canarias se produjo no hace mucho una proliferación de cianobacterias del género *Trichodesmium* que, aunque no se ha confirmado la razón de la aparición repentina de esta proliferación, puede verse favorecida por los vertidos de aguas residuales (Rahav y Bar-Zeev, 2017). Sin embargo, otros expertos desvinculan la proliferación de estas cianobacterias con las aguas residuales (Arístegui et al., 2017). Recientemente, en julio de 2018 el Tribunal de Justicia de la Unión Europea ha sancionado a España por vertidos de aguas residuales sin depurar, entre las comunidades autónomas

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

que no tratan las aguas residuales se encuentran las Islas Canarias (Miranda, 2018).



Figura 3. Bloom de microalgas en las costas canarias

- **Rhodophyta o algas rojas**, entre las que puede encontrarse una gran variedad de algas comestibles como el *Chondrus crispus* (musgo irlandés o “irish moss”) o la *Palmaria palmata* (alga “dulce”).

Llamadas algas rojas por su característico color rojo debido al pigmento ficoeritrina.



Figura 4. Imagen del alga roja *Chondrus crispus*

- **Phaeophyceae o algas pardas/marrones**, siendo uno de los grupos con mayor variedad de algas comestibles como el *Sargassum*

*spp.*, *Fucus spp.*, *Laminaria spp.*, *Undaria pinnatifida*, etc. Nuevamente, su nombre se debe al pigmento fucoxantina que le da un color pardo marrón.



Figura 5. Imagen de una especie de alga parda *Fucus spp.*

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

- **Clorophyta o algas verdes**, cuyo nombre se debe a la clorofita que le da un color verde característico. Dentro de las algas verdes comestibles puede encontrarse la *Ulva lactuca* o “lechuga de mar”.

El ciclo vital y reproductor de las algas es de gran importancia y debe considerarse. Las algas, organismos diploides (2n), comparten el ciclo reproductor con las plantas, pudiendo encontrarlas en dos fases completamente diferenciadas, en su fase esporofítica, en la que el alga suele ser recolectada con fines alimentarios, y por otro lado, en fase gametofítica.

El ciclo reproductor de las algas comienza con el alga en forma de esporofito, ésta sufre una primera división celular, la meiosis, en la que de una célula madre se obtienen dos células hijas haploides. A continuación, cada una de las esporas (células haploides) sufrirá una segunda división, la mitosis, a través de la cual se obtendrán dos gametos, el femenino y el masculino. Estos gametos serán fecundados dando lugar al cigoto (célula diploide).

Es destacable que, el ciclo reproductor de las algas, que combina meiosis y mitosis, da lugar a una gran variabilidad genética entre individuos.

## 2.2. Composición de las algas

El consumo de algas se ha incrementado notablemente en los países occidentales debido, en especial, a las dietas vegetarianas y veganas, las cuales son seguidas cada vez por más gente que busca una alimentación supuestamente más saludable, evitando el consumo de productos de origen animal. No obstante, la población en general desconoce el valor nutricional y composición química de estos productos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Las algas contienen proteínas, lípidos, azúcares, ácidos grasos, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos que son los responsables de su actividad biológica (MacArtain et al., 2007; Gupta y Tuohy, 2015). En lo que respecta al objeto de estudio de la presente tesis, los compuestos de las algas pueden dividirse en dos grandes grupos, el grupo de macronutrientes, micronutrientes y minerales y, por otro lado, otros compuestos, como antioxidantes, fibra, etc.

**2.2.1. Macronutrientes, micronutrientes y minerales**

La base de datos de nutrientes (*Nutrient Database*) de la organización americana USDA (United States, Department of Agricultural), recoge informes nutricionales de diferentes alimentos, entre ellos, una gran variedad de algas.

Clasificadas en el grupo de los vegetales, el valor nutricional de las algas varía notablemente entre especies. Sin embargo, para poder comparar el contenido de macronutrientes, micronutrientes y minerales, es necesario tener en cuenta otros alimentos de origen vegetal (Tabla 1).

**Tabla 1.** Comparativa del valor nutricional de diferentes algas con otros alimentos dado para 100 gramos de cada producto

	Wakame <sup>a</sup>	Musgo de Irlanda <sup>b</sup>	Kelp <sup>c</sup>	Coles de Bruselas <sup>d</sup>	Guisantes verdes <sup>e</sup>	Espinacas <sup>f</sup>
Valor energético (Kcal)	45	49	43	36	81	23
Proteínas (g)	3,03	1,51	1,68	2,55	5,42	2,86
Hidratos de carbono (g)	9,14	12,29	9,57	7,10	14,45	3,63
Azúcares (g)	0,65	0,61	0,60	1,74	5,67	0,42
Grasas (g)	0,64	0,16	9,57	0,50	0,40	0,39
- Saturadas (g)	0,130	0,033	0,247	0,102	0,071	0,063

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- Monoinsaturadas (g)	0,058	0,015	0,098	0,038	0,035	0,010
- Poliinsaturadas (g)	0,218	0,055	0,047	0,255	0,187	0,165
Fibra alimentaria (g)	0,5	1,3	1,3	2,6	5,7	2,2
Colesterol (mg)	0	0	0	0	0	10
Calcio (mg)	150	72	168	36	25	99
Hierro (mg)	2,18	8,90	2,85	1,20	1,47	2,71
Magnesio (mg)	107	144	121	20	33	79
Potasio (mg)	50	63	89	317	108	558
Sodio (mg)	872	67	233	21	5	79
Zinc (mg)	0,38	1,95	1,23	0,33	1,24	0,53
Cobre (mg)	0,284	0,149	0,130	0,083	0,176	0,130
Manganeso (mg)	1,40	0,370	0,200	0,227	0,410	0,897
Vitamina C (mg)	3,0	3,0	3,0	62,0	40,0	28,1
Niacina (mg)	1,60	0,593	0,470	0,607	2,090	0,724
Vitamina E (mg)	1,00	0,87	0,87	0,43	0,13	2,03
Vitamina K (µg)	5,3	5,0	66,0	140,3	24,8	482,9

Referencias: <sup>a</sup>USDA, 2017a, <sup>b</sup>USDA, 2017b, <sup>c</sup>USDA, 2017c, <sup>d</sup>USDA, 2017d, <sup>e</sup>USDA, 2017e, <sup>f</sup>USDA, 2017f

En la Tabla 1, se encuentran recogidos los valores de diferentes nutrientes en algas y otros alimentos vegetales considerando una ración de 100 gramos de cada alimento.

Las algas rojas como el Musgo de Irlanda (*Chondrus crispus*) contiene mayores niveles de minerales como Fe, Mg, K y Zn, mientras que, algas pardas como el Wakame (*Undaria spp.*) presenta mayores contenidos de Ca, Na, Cu y Mn.

La comparación del contenido de estos nutrientes entre las algas y otros vegetales, como los guisantes, las espinacas o las coles de Bruselas, pone de manifiesto que estos vegetales terrestres, en general, presentan un mayor contenido en fibra alimentaria, un mayor contenido en vitamina C lo que puede favorecer la absorción de minerales como el Fe y un menor contenido en sodio (Na). Teniendo en cuenta que el Na está presente en

12

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

todos los alimentos, la ingesta diaria total de este elemento puede verse superada en casos de consumo elevado de algas pues, éstas presentan contenidos altos en Na.

Aunque sí es destacable el contenido en Fe de los tres tipos de algas que se presentan en la Tabla 1, es necesario tener en cuenta que, la biodisponibilidad y, por lo tanto, la absorción de este hierro procedente de los alimentos vegetales, es mucho menor en comparación con la absorción del hierro presente en los alimentos de origen animal. Esto se debe a la forma química del Fe, el cual se encuentra como hierro no hemo ( $Fe^{3+}$ ) en los productos vegetales, mientras que, en los productos de origen animal, se encuentra en forma hemo ( $Fe^{2+}$ ) (Abbaspour et al., 2014).

### 2.2.2. Otros componentes

Las algas destacan por contener elevadas concentraciones de polisacáridos, fibra y sustancias bioactivas como los polifenoles, proteínas, lípidos, péptidos y carotenoides (Tokudome et al., 2001; Fung et al., 2013; López-Hidalgo, 2017).

Los **compuestos bioactivos** presentes en las algas son una de las principales razones del incremento en el consumo y uso de éstas. Destaca notoriamente el consumo de preparados a base de algas como la **espirulina**, una de las pocas cianobacterias seguras para el consumo (Foo et al., 2017).

Uno de los carotenoides más estudiados por sus propiedades como **antioxidante** es la **fucoxantina** ( $C_{42}H_{58}O_6$ ), la cual se encuentra en las algas pardas o marrones (Fig. 6). Este compuesto perteneciente a la familia de las xantofilas ha mostrado efectos anticancerígenos, antiinflamatorias y contra la obesidad (Prabhasankar et al., 2009; Fung et al., 2013). Las algas wakame o *Undaria pinnatifida* son una de las macroalgas que mayores niveles de fucoxantina presentan (Prabhasankar et al., 2009).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

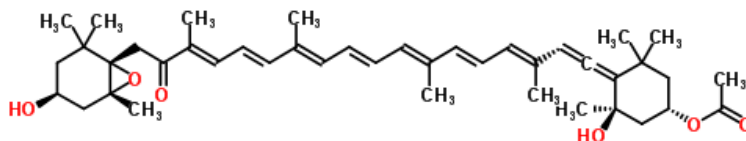


Figura 6. Estructura química de la fucoxantina

### 2.3. Beneficios y posibles efectos perjudiciales

Las algas son un alimento rico en vitaminas y fibra que puede considerarse una fuente de elementos esenciales como el fósforo, potasio, hierro, yodo y sodio (Astorga-España et al., 2015). Sin embargo, precisamente su elevado contenido en estos nutrientes puede provocar una ingesta excesiva de los mismos.

Estudios han relacionado un consumo excesivo de algas con hipertiroidismo, debido al alto contenido en yodo (Bouga y Combet, 2015). Por otro lado, estudios llevados a cabo por Michikawa et al. (2012) en mujeres japonesas posmenopáusicas demostraron una relación directa entre el consumo abusivo de algas y el cáncer de tiroides (Fig. 7).



Figura 7. Mujer afectada de cáncer de tiroides

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

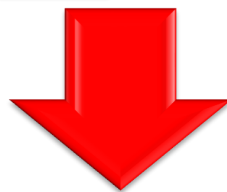
*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Otro de los inconvenientes del consumo abusivo de algas son las interacciones con medicamentos, especialmente con anticoagulantes. Esto se debe al gran contenido en vitamina K, que interviene en la coagulación de la sangre. Además, la elevada concentración de sodio puede provocar hipertensión.

Precisamente su elevada capacidad de absorción y acumulación de metales hace que las algas puedan presentar elevadas concentraciones de metales tóxicos como el arsénico (Mehta y Gaur, 2005; Atici et al., 2010). Sin embargo, la reglamentación europea no ha fijado un límite máximo de metales tóxicos en algas. Aunque los fabricantes y productores de algas indican en los envases no superar el consumo de 5 gramos de algas deshidratadas al día.



1. Alto contenido en vitaminas.
2. Fuente de P, K, Fe, I, Na.
3. Alto contenido en fibra



1. Alteraciones del tiroides
2. Interacciones con medicamentos (anticoagulantes, heparina, etc).
3. Elevada concentración de arsénico (algas hiziki)

#### 2.4. Consumo de algas en Europa

En Europa las algas son cada vez más frecuentes debido a las nuevas tendencias en alimentación. Constituyen un alimento básico en las dietas veganas y vegetarianas, en las que se puede encontrar una gran cantidad de subproductos elaborados con algas (snacks, galletas, tofu, etc). Aunque no hay datos oficiales sobre el consumo medio de algas, si hay datos de las ventas y producción de estos productos en Europa.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

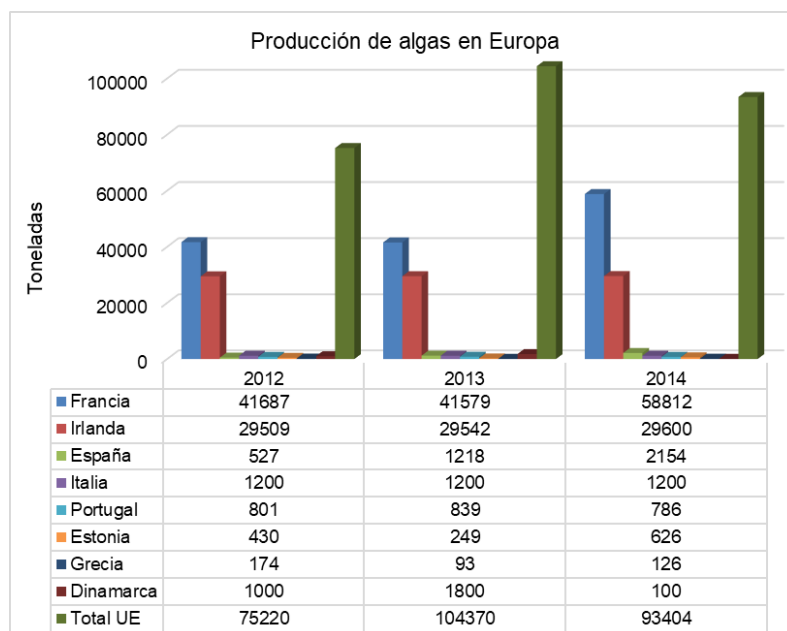
25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En un informe sobre el análisis del mercado europeo de vegetales de mar realizado en 2014, muestra que los países que más consumen y producen algas en Europa son Francia, Reino Unido, Alemania y España (Organic Monitor, 2014).



**Figura 8.** Producción de algas en Europa (Fuente: FAO Fishstat, 2014)

El sector de las algas ha crecido de forma exponencial en los últimos años y se espera un crecimiento del 10% anual. La mayor parte de las algas consumidas en Europa proceden mayoritariamente de Asia. Sin embargo, España destaca por ser uno de los principales productores de las algas wakame y kombu europeas (Fig. 8) (Organic Monitor, 2014).

### 2.5. Metales y elementos estudiados

En este trabajo, han sido determinados los niveles de metales y elementos de interés nutricional, como son los macroelementos y elementos traza esenciales. Y, por

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

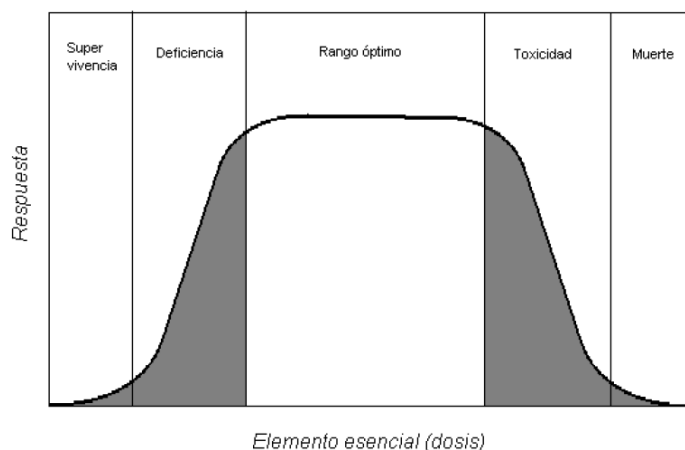
*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

otro lado, se ha determinado el nivel de metales y elementos de interés toxicológico como los metales tóxicos y otros elementos traza no esenciales.

Respecto a la **clasificación de los elementos** estudiados, éstos han sido clasificados en elementos esenciales y elementos no esenciales.

Los **elementos esenciales**, a su vez divididos en macroelementos o elementos abundantes, elementos traza u oligoelementos y elementos ultratrazas, son elementos cuya ingesta deficitaria provocaría deficiencias fisiológicas. Estos elementos son requeridos por el organismo para crecer y completar su ciclo vital pues influyen directamente en el organismo y en los procesos metabólicos de éste. Sin embargo, aunque se trata de elementos esenciales, debe existir un equilibrio pues tanto una ingesta deficitaria como excesiva puede provocar efectos perjudiciales sobre la salud (Farré Rovira, 1983).

En la Figura 9 se muestra el diagrama de Bertrand para elementos esenciales, en el que puede observarse la existencia de un rango óptimo que garantiza el correcto funcionamiento del organismo.



**Figura 9.** Diagrama de Bertrand

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Aunque las características que los elementos esenciales deben cumplir para ser considerados como tal son bastante claras, algunos elementos ultratraza como el Ni, As, B, entre otros, no pueden ser clasificados con seguridad. Estos elementos se encuentran de forma natural en los alimentos. Además, son esenciales para otros organismos animales y vegetales, razón por la cual, se denominan como “posiblemente esenciales” (González Muñoz et al., 2009).

Asimismo, pueden encontrarse otros elementos que, aunque no son esenciales, sí presentan aplicaciones farmacológicas como es el caso del Sr, el cual, por su gran similitud al Ca, es usado en tratamientos de osteoporosis. Por otro lado, los elementos no esenciales no producen ninguna respuesta en el organismo, siendo, además, tóxicos (Vallet et al., 2003).

A continuación, se recoge información relativa a cada uno de los elementos estudiados en este trabajo.

### 2.5.1. Metales y elementos esenciales

Los metales esenciales son elementos necesarios para el organismo humano debido a las múltiples funciones que desempeñan en éste. Se encuentran de forma natural en los alimentos, siendo esta la principal vía de incorporación al organismo.

Los metales y elementos esenciales pueden dividirse en dos grupos, los **macroelementos** formado por metales alcalinos y alcalinotérreos: calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg) y sodio (Na). Éstos son requeridos en elevadas cantidades.



#### Metales y elementos esenciales

- **Macroelementos**  
(Ca, K, Mg, Na)
- **Elementos traza**  
(Cr, Cu, Co, Fe, Mn, Zn, Mo, I)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Por otro lado, se encuentran los **elementos traza esenciales**, siendo estos el hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), cobalto (Co), zinc (Zn), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y yodo (I). Aunque estos elementos son vitales para el correcto funcionamiento del organismo, son requeridos en menores cantidades (Mertz, 1981; Blanco, 2006; FESNAD, 2010).

*2.5.1.1. Calcio*

El calcio (Ca) de número atómico 20 y peso molecular de 40,08 g/mol, es el decimoquinto elemento más abundante de la corteza terrestre. Este es un elemento esencial perteneciente al grupo de los alcalinotérreos.

El Ca es el constituyente mayoritario de los tejidos óseos, formando parte de huesos y dientes, siendo un elemento esencial para el mantenimiento de la estructura y función de los huesos (Carafoli, 1987; Weaver y Heaney, 2006).

Una pequeña proporción de Ca, aproximadamente de un 1%, se encuentra distribuido en los líquidos intravascular, intersticial e intracelular (Blanco, 2006; EFSA, 2015a). El calcio iónico libre que se encuentra en los líquidos intracelulares y extracelulares participa en importantes reacciones bioquímicas como la transmisión del impulso nervioso, regulación de enzimas, coagulación de la sangre, secreción hormonal, etc.

El Ca es un macroelemento necesario en grandes cantidades, sin embargo, su ingesta diaria depende de la edad. Es destacable que, a partir de los 45 años de edad, y en especial en las mujeres, se produce un proceso de descalcificación que puede derivar en osteoporosis, siendo necesaria una mayor ingesta de este elemento (Fig 10).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09





**Figura 10.** Estructura del hueso sano y del hueso con osteoporosis

Los requerimientos diarios de calcio para adultos establecidos por la FESNAD (Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética) son de 900 – 1000 mg Ca/día para hombres y mujeres (FESNAD, 2010).

Sin embargo, aunque el calcio es necesario, una excesiva ingesta puede provocar hipercalcemia, que produce una excesiva calcificación de huesos y tejidos blandos, así mismo, puede aumentar el riesgo de sufrir cáncer de próstata, formación de cálculos renales por oxalato de calcio e hipercalciuria (IOM, 2001; Pravina et al., 2013).

Aunque una excesiva ingesta de calcio no es frecuente debido a que el exceso de calcio se excreta, se han establecido unos límites máximos de ingesta siendo de 2000 – 2500 mg Ca/día para adultos (IOM, 2001).

Los alimentos que destacan por su elevado contenido en calcio son los lácteos y derivados. Los lácteos son una de las mejores fuentes de este macroelemento dado que la absorción de Ca a nivel gastrointestinal se ve facilitada por la presencia de lactosa (Blanco, 2006).

No obstante, los alimentos vegetales también contienen calcio. Algunas algas como las algas wakame contienen elevadas concentraciones de calcio de alrededor de los

20

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

150 mg de Ca por 100 gramos de alga, siendo la mitad del calcio presente en la leche de vaca entera (USDA, 2017a, 2017b).

La absorción a nivel gastrointestinal es de alrededor de un 30% por cada 800 – 900 mg de calcio ingeridos. Su absorción puede verse disminuida por diversos factores tales como las cantidades presentes de Ca en los alimentos y en el organismo, o por la presencia de otros compuestos que pueden impedir su absorción por formar sales insolubles (Lemann et al., 1979; Heaney et al., 1988; Bronner y Pansu, 1999; Blanco, 2006).

*2.5.1.2. Potasio*

El potasio (K) es un metal alcalino de número atómico 19 y peso molecular de 39,1 g/mol, es un elemento de gran abundancia, siendo el séptimo más abundante de la corteza terrestre.

El K es un elemento de gran importancia para el desarrollo de las funciones fisiológicas del organismo humano. Cerca del 98% del K total contenido en el cuerpo humano se encuentra en el líquido intracelular, siendo un catión de gran importancia en los procesos osmóticos (Blanco, 2006; EFSA, 2016).

Este elemento participa en procesos de síntesis de proteínas y glucógeno, y en la transmisión del impulso nervioso y muscular (Blanco, 2006; Rubio et al., 2017a). Debido a su gran similitud química con el sodio, ambos forman parte de la bomba de  $\text{Na}^+\text{K}^+$ -ATPasa, la cual es necesaria para la regulación y mantención de la membrana plasmática (Davies et al., 1991; Blanco, 2006; Yan y Shapiro, 2016).

El déficit de este elemento puede dar lugar a hipokalemia, que es debida a la disminución del nivel de potasio en plasma produciendo náuseas, calambres, pérdida de apetito (Blanco, 2006). Por ese motivo, es necesario cubrir los requerimientos diarios para

21

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

este elemento. La FESNAD recomienda unas ingestas diarias de 3100 mg K/día para hombres y mujeres adultos (FESNAD, 2010).

Por el contrario, una ingesta excesiva de potasio puede dar lugar hiperkalemia que causa un cuadro clínico de vómitos, debilidad, náuseas, diarrea e incluso arritmias, sin embargo, debido a la similitud de los síntomas con otras patologías, es difícil de diagnosticar de esta forma, siendo necesario recurrir a electrocardiogramas (Blumberg et al., 1997; EFSA, 2016). Así mismo, al igual que el sodio, una ingesta excesiva de potasio puede aumentar la presión arterial (Beretta-Piccoli et al., 1982; Suter, 1999).

Los suplementos alimenticios que contienen potasio pueden ser una causa de excesiva ingesta en este elemento. No obstante, no se ha establecido niveles máximos tolerables de potasio.

Este elemento puede ser encontrado en una amplia variedad de alimentos, destacando en pescado, carne, cereales, verduras y en frutas, en especial, en los plátanos (Blanco, 2006, EFSA, 2016).

Los niveles de potasio en las algas varían considerablemente de una especie a otra, por ejemplo, en las algas wakame se encuentran concentraciones medias de 50 mg por 100 gramos de alga (USDA, 2017a) mientras que otras especies, como el musgo de Irlanda contiene en torno a 63 mg de potasio por 100 gramos de alga (USDA, 2017c).

La absorción gastrointestinal del potasio procedente de la dieta es de en torno al 90% del total. Debido a que, con una dieta equilibrada, la ingesta media de potasio es de unos 4 gramos, aproximadamente, es eliminado por el riñón, el cual constituye el órgano modulador de potasio en el organismo, asegurando un balance adecuado en el organismo (Blanco, 2006).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

*2.5.1.3. Sodio*

El sodio (Na), metal perteneciente al grupo de los alcalinos de número atómico 11 y peso molecular de 23,0 g/mol, constituye el 2,6% de la corteza terrestre ocupando el cuarto lugar de abundancia.

En el organismo humano el Na se encuentra repartido entre los líquidos extracelulares (aproximadamente un 55% del total), en los tejidos óseos (en torno a un 40%) y, en menor cantidad, en el compartimiento intracelular (EFSA, 2005; Blanco, 2006).

Al igual que el potasio, el Na es un elemento esencial en el mantenimiento de la presión osmótica. Participa en la bomba de  $\text{Na}^+\text{K}^+$ -ATPasa, regulando el contenido intra y extracelular de potasio y sodio (Yan y Shapiro, 2016). Siendo un catión esencial para el balance hídrico que, además, mantiene la osmolalidad del plasma (EFSA, 2005; Blanco, 2006). El sodio actúa como activador de diferentes sistemas hormonales y circuitos neuronales (Hurley y Johnson, 2015).

El déficit de sodio en el organismo puede causar fatiga, problemas cognitivos, o hiponatremia, la cual se debe a niveles de sodio en suero menores a 135 mmol/L produciendo fallo cardíaco (Malhotra et al., 2014). Debido a la gran importancia de este catión, es necesario cubrir las necesidades diarias. La FESNAD ha establecido una ingesta diaria recomendada (IDR) de 1500 mg Na/día para adultos (FESNAD, 2010).

Sin embargo, una excesiva ingesta de este macroelemento afecta directamente a la tensión arterial, produciendo hipertensión. En casos de ingestas muy elevadas, puede producirse hipernatremia, inactivándose la hormona vasopresina y, produciendo grandes pérdidas de líquidos corporales, lo que afecta directamente al equilibrio electrolítico del

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

organismo (Ruusunen y Puolanne, 2005; Blanco, 2006; Graudal et al., 2014). Aun así, no se han establecido unos valores de ingesta máxima de sodio (EFSA, 2005).

El sodio puede encontrarse en diferentes concentraciones en todos los alimentos, pero, su mayor ingesta procede de la adición intencionada de sal de mesa (NaCl, cloruro de sodio) a los alimentos. La sal se adiciona como potenciador del sabor. Los alimentos procesados contienen otros aditivos potenciadores del sabor y conservantes a base de sodio como el glutamato, los nitritos y nitratos.

Algunas especies de algas acumulan grandes cantidades de sodio, especialmente las algas pardas, como las algas wakame o las algas nori con unos niveles medios de sodio de 872 y 480 mg de Na por 100 gramos de alga, respectivamente (USDA, 2017a, 2017g).

La absorción de este elemento se produce a lo largo del intestino. El mantenimiento del balance de sodio se basa en la regulación entre la excreción y reabsorción de este metal. Una gran cantidad del sodio absorbido será eliminado a través de la orina y el sudor (Blanco, 2006).

*2.5.1.4. Magnesio*

El magnesio (Mg) es otro de los metales pertenecientes al grupo de los alcalinotérreos. El Mg, de número atómico 12 y peso molecular de 24,3 g/mol, es un elemento de gran abundancia tanto en la corteza terrestre, ocupando el octavo lugar en el orden de abundancia, como en el cuerpo humano, en el que es el undécimo elemento de mayor abundancia.

Este catión se encuentra en todas las células del organismo siendo, además, uno de los iones más abundantes en el líquido intracelular, junto con el potasio (Blanco, 2006).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

La gran reactividad de este macroelemento, cuyo estado de oxidación es 2+, hace que, en estado natural se encuentre asociado a otros elementos formando sales como el cloruro o carbonatos de magnesio y/o hidróxidos (EFSA, 2015b).

El magnesio es un cofactor que participa en alrededor de 300 reacciones enzimáticas en el organismo, encontrándose unido a enzimas como la ATP (adenosín trifosfato) o GTP (guanosín trifosfato), esto se debe principalmente a su afinidad por los polifosfatos (Blanco, 2006). También, participa en rutas metabólicas de gran importancia, siendo importante para la división celular, mantenimiento de los huesos y los dientes, síntesis de proteínas o la coagulación de la sangre (IOM, 2001; EFSA, 2009).

Una ingesta deficitaria de Mg puede dar lugar a hipomagnesemia que puede impedir la homeostasis de la vitamina D y el calcio (LPI, 2017). Los principales síntomas son debilidad, calambres musculares, fibromialgia y en casos de mayor gravedad, disfunción cardíaca.

La cantidad diaria recomendada por la FESNAD para las mujeres y hombres adultos es de 300 mg Mg/día y de 350 mg Mg/día, respectivamente (FESNAD, 2010).

Sin embargo, cuando las ingestas de este elemento superan los 250 mg al día, se produce un estado de hipermagnesemia, cuyos síntomas son diarrea, vómitos, etc. Normalmente, la dieta no aporta cantidades tan elevadas de Mg, siendo estas intoxicaciones producto de bebidas energéticas o suplementos que contienen elevadas concentraciones de este elemento (IOM, 2001; Vormann, 2003; EFSA, 2009).

Las nueces, cereales de grano entero, pescado, legumbres y plátanos, se encuentran entre los alimentos más ricos en Mg (IOM, 2001). Actualmente, el Mg puede encontrarse en otros productos como el cacao soluble o el café, a los cuales se les añade de forma intencionada. En cuanto a las algas, algunas como el musgo de Irlanda contienen

25

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

alrededor de 144 mg de Mg por 100 gramos de alga, siendo mayor a la cantidad encontrada en las nueces de Macadamia que se consideran una fuente muy importante de magnesio con una concentración de 130 mg de Mg por 100 gramos de nueces (USDA, 2017c, 2017h).

La absorción de Mg se produce, principalmente, a lo largo del tracto gastrointestinal, viéndose favorecida por los gradientes electroquímicos. Una vez absorbido, circula a través del torrente sanguíneo enlazado a proteínas y complejos aniónicos (Brannan et al., 1976; Hardwick et al., 1991; Ohta et al., 1995; Bohn, 2003; Bohn et al., 2004).

La eliminación, principalmente a través de la orina, desempeña un importante papel en la homeostasis del Mg, alrededor del 80% de este metal es filtrado por los riñones y la mayor parte es reabsorbida, eliminándose un 3% aproximadamente (Blanco, 2006).

*2.5.1.5. Hierro*

El hierro (Fe) es un metal de transición de número atómico 26 y peso molecular de 55,9 g/mol. Este metal es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, formando parte de minerales como la magnetita ( $Fe_3O_4$ ) o la siderita ( $FeCO_3$ ), entre otros. Este metal de transición tiene diferentes estados de oxidación, siendo los más importantes a nivel biológico los estados  $Fe^{2+}$  (hierro hemo) y  $Fe^{3+}$  (hierro no hemo) (EFSA, 2015c).

El Fe es uno de los elementos traza esenciales para el organismo humano interviniendo en un gran número de funciones metabólicas como el transporte de oxígeno formando parte de la hemoglobina (Fig. 11), la respiración mitocondrial, la síntesis del ADN o en la inactivación de radicales libres (Gurzau et al., 2003; Papanikolaou y Pantopoulos, 2005; Moll y Davis, 2017). La razón por la cual el Fe participa en múltiples

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

reacciones en el organismo se debe al potencial redox entre los estados de oxidación  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ .

La deficiencia de Fe puede afectar al desarrollo intelectual, especialmente a niños, provocando, además, anemia, que se manifiesta con síntomas de agotamiento, fatiga, dificultad para realizar esfuerzos físicos, etc (Moll y Davis, 2017). La deficiencia de este metal es, actualmente, un problema de salud pública que afecta alrededor de 2150 millones de personas en el mundo, en especial afecta a los niños y a las mujeres adolescentes, por encontrarse en desarrollo y a las mujeres en edad fértil (WHO, 2001; Wojciak, 2014). Se considera necesario una suplementación de Fe, particularmente para los niños y las mujeres en edad fértil, pues necesitan una mayor ingesta de Fe.

La FESNAD ha fijado valores de ingesta diaria recomendada de Fe de 9 mg/día para hombres y de 18 mg/día para mujeres en edad fértil (FESNAD, 2010).

No obstante, aunque no es posible ninguna forma de vida sin este metal, un exceso de Fe puede tener graves consecuencias para la salud. El exceso de Fe puede causar daños tisulares por formación de radicales libres de especies oxígeno activas, como el radical hidroxilo, que es la especie radicalaria más oxidante que se conoce (Kampfenkel et al., 1995; Walter et al., 2002; Valko et al., 2007).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

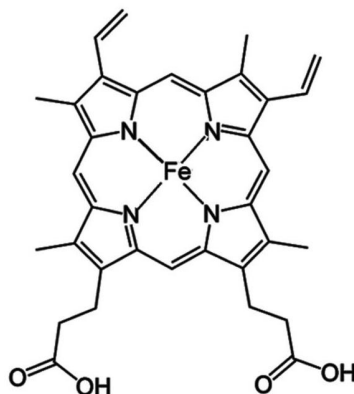
Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09





**Figura 11.** Estructura de la hemoglobina en la que el hierro ocupa el centro de la molécula

El *Institute of Medicine* (IOM) ha establecido una ingesta máxima (UL, upper level) para el Fe de 45 mg/día para hombres y mujeres de 14 a más de 70 años (IOM, 2001). Así mismo, esta institución considera que las dietas vegetarianas necesitan un mayor aporte de Fe debido a que consumen alimentos que contienen hierro no hemo, lo que dificulta su absorción.

En cuanto a las fuentes alimentarias de hierro, es necesario tener en cuenta la forma en la que se encuentra el hierro, pues de su estado de oxidación depende la absorción. El hierro de tipo hemo, de estado de oxidación 2+, es absorbido en torno al 15 – 35 %, sin embargo, la absorción del no hemo, de estado de oxidación 3+, es de un 2%.

Las mayores fuentes de Fe hemo son las carnes, es especial carnes rojas, los moluscos (berberechos, almejas y ostras), pescados. Mientras que, en los vegetales y las legumbres, pueden encontrarse grandes cantidades de hierro, pero de tipo no hemo, por lo que su absorción es menor (Abbaspour et al., 2014).

Las algas, debido a su gran capacidad de absorción de metales, presentan elevadas concentraciones de hierro (Ibáñez y Herrero, 2017). No obstante, aunque se sabe que la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

biodisponibilidad del hierro en los alimentos vegetales como las algas es menor, en el caso particular de éstas, al contener cantidades importantes de vitamina C (Ibáñez y Herrero, 2017), esta absorción de hierro puede verse mejorada pues, la vitamina C es capaz de reducir al hierro (III) a hierro (II).

El Fe es absorbido, principalmente, por el intestino siendo depositado en el hígado, el bazo y en la médula ósea. Una parte de hierro absorbido es eliminado a través de la orina, las heces y el sudor. Las mujeres tienen grandes pérdidas de hierro durante la menstruación (Moll y Davis, 2017).

*2.5.1.6. Zinc*

El zinc (Zn) de número atómico 30 y peso molecular de 65,4 g/mol, es un metal perteneciente a los metales de transición que ocupa el vigésimo cuarto puesto de entre los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Es un elemento traza esencial o micronutriente que se encuentra como catión divalente,  $Zn^{2+}$ .

Este metal participa en numerosos procesos bioquímicos en el organismo humano, encontrándose en todas las células del cuerpo. El Zn es un componente de un gran número de enzimas y proteínas y, participa en la regulación la expresión génica (Tapiero y Tew, 2003; Blanco, 2006; Rubio et al., 2007; EFSA, 2014a; Krezel y Maret, 2016; Jamieson-Hanes et al., 2017). Es un metal necesario para el correcto funcionamiento del sistema inmunológico (Ibs y Rink, 2003).

Las posibles consecuencias de una ingesta deficitaria en Zn van desde una cicatrización lenta de las heridas y un sistema inmunológico debilitado (dada la importancia del Zn en la formación de antígenos), hasta una posible resistencia a la insulina, infertilidad e incluso, disfunción sexual tanto en hombres como en mujeres (Prasad, 1988; Nishi, 1996; Prasad, 2009).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

La FESNAD ha establecido unos valores recomendados de Zn de 7 mg/día para mujeres adultas y de 9.5 mg/día para hombres adultos (FESNAD, 2010).

La excesiva ingesta de zinc interfiere en la absorción del cobre, otro metal esencial para el organismo humano, que puede dar lugar a graves enfermedades neurológicas. El IOM establece un límite máximo (UL) de Zn de 40 mg/día para adultos de edades entre 19 - < 70 años (IOM, 2001).

Nuevamente, las dietas vegetarianas y veganas presentan una menor absorción de Zn, razón por la cual se recomienda una ingesta mayor para las personas que sigan este tipo de alimentación (IOM, 2001).

Los alimentos que contienen mayores concentraciones de Zn son las carnes y subproductos cárnicos, legumbres, cereales, pescado y huevos (EFSA, 2014a). Algunas especies de algas pueden aportar cantidades significativas de Zn a la dieta, especialmente las algas rojas (Rubio et al., 2017a).

La absorción de Zn es por vía gastrointestinal. Una vez en el organismo, este se une a la albúmina y es transportado en la sangre. Las vías de eliminación de este metal son la orina, heces y el sudor.

*2.5.1.7. Cobre*

El cobre (Cu) de número atómico 29 y peso molecular de 63,5 g/mol, es otro metal de transición esencial de gran abundancia en la corteza terrestre. Su esencialidad se debe a su potencial redox entre sus dos estados de oxidación,  $Cu^+$  y  $Cu^{2+}$ , que le permite participar en procesos de transferencia de energía.

El Cu tiene una gran facilidad para unirse a aminoácidos, como la histidina o la albúmina (EFSA, 2015d). Es un componente clave de múltiples enzimas y, además,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

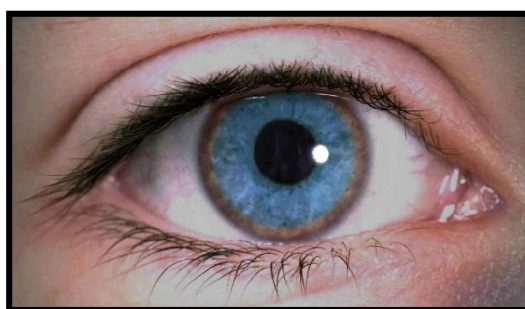
25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

participa en el metabolismo del Fe, en la regulación de la expresión génica y en la función mitocondrial (IOM, 2001; Blanco, 2006).

Un déficit de Cu puede provocar anemia, debido a que el Cu participa en el metabolismo del Fe, anorexia, problemas óseos y la conocida como enfermedad de Menkes, un desorden congénito que provoca una degeneración cerebral progresiva. La FESNAD recomienda unas ingestas diarias para adultos de 1.1 mg/día (FESNAD, 2010).

Por otro lado, una excesiva ingesta de Cu puede provocar graves daños al hígado. Además, personas con la Enfermedad de Wilson (Fig. 12), enfermedad de carácter genético caracterizada por una disminución de los niveles de ceruloplasmina y por la acumulación excesiva de Cu en el hígado, dañando progresivamente al tejido hepático, o aquellas personas con cirrosis hepática, tienen un mayor riesgo por consumo excesivo de este metal (Davis y Mertz, 1987). El IOM ha establecido una ingesta máxima (UL) de 10 g/día para adultos (IOM, 2001).



**Figura 12.** Anillo dorado alrededor del iris como consecuencia de una acumulación de cobre (Enfermedad de Wilson)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Las fuentes dietéticas de Cu son la carne de res, en especial en hígado, las ostras, el cacao y derivados, nueces y legumbres (EFSA, 2015d).

La absorción de Cu se produce a lo largo de tracto gastrointestinal, aunque se desconoce si este es absorbido como Cu (I) o Cu (II). Una vez absorbido, es transportado unido a los aminoácidos a través del torrente sanguíneo y es acumulado en los órganos. El hígado es el órgano en el que se produce una mayor acumulación de este metal. La eliminación de Cu se produce a través de la orina y las heces (Blanco, 2006; EFSA, 2015d).

*2.5.1.8. Cromo*

El cromo (Cr) es un metal que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre (EFSA, 2014b). El Cr presenta diferentes estados de oxidación, siendo los más comunes el Cr<sup>3+</sup> y el Cr<sup>6+</sup>, predominando en la naturaleza predomina el estado trivalente. Este metal pertenece al grupo de los metales de transición, con un número atómico de 24 y un peso molecular de 52,0 g/mol.

La esencialidad de este metal ha sido muy discutida debido a que la forma hexavalente, Cr (VI), es un conocido agente carcinógeno (EFSA, 2014b; Palaniappan y Muthulingan, 2016). Además, debido a las actividades antropogénicas como los vertidos industriales y domésticos, se ha incrementado el contenido de cromo en el ambiente llegando a ser un peligroso contaminante (EFSA, 2014b; de Sousa et al., 2016).

El Cr (III) tiene un importante papel en el organismo humano regulando el metabolismo de los hidratos de carbono, de los lípidos y de los ácidos nucleicos (Katz, 1991; IOM, 2001; Blanco, 2006). Mantiene los niveles normales de glucosa en sangre (Mertz, 1993; Cefalu y Hu, 2004). Estudios llevados a cabo por Schwarz y Mertz en 1959,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

han demostrado que el Cr es un componente activo del factor de tolerancia de la glucosa (GTF) (Schwarz y Mertz, 1959).

Una ingesta deficitaria de Cr (III) puede derivar en problemas de intolerancia a la glucosa y en un aumento del contenido de lípidos en suero (IOM, 2001). La FESNAD ha fijado unos valores diarios recomendados de Cr de 25 mg/día para mujeres adultas y de 35 mg/día para hombres adultos (FESNAD, 2010).

Por otro lado, si la ingesta de Cr es muy elevada puede desencadenar un fallo renal crónico, dermatitis, bronquitis, asma, etc (IOM, 2001; Krejpcio, 2001). La EFSA (European Food Safety Authority) ha establecido una ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) para cromo trivalente de 0,3 mg Cr<sup>3+</sup>/kg peso corporal/día (EFSA, 2014b).

Las principales fuentes alimentarias de Cr son la levadura de cerveza y la cerveza, las carnes rojas, carne de pollo, hortalizas como la remolacha, pescado y algunos cereales (IOM, 2001; EFSA, 2014b). Dada la gran capacidad de absorción de las algas, en especial, las algas rojas pueden acumular grandes cantidades de cromo que, en casos de consumo excesivo de algas puede dar lugar a efectos tóxicos.

La absorción de Cr (III) es a través del tracto gastrointestinal, absorbiéndose mejor las formas orgánicas de cromo que las inorgánicas. La presencia de ácido ascórbico y de aminoácidos puede incrementar la absorción de este metal. Una vez absorbido, el Cr se une a la transferrina en la sangre, circulando por el torrente sanguíneo y acumulándose en el hígado, médula ósea, huesos y tejidos blandos. La principal vía de eliminación del cromo es a través de la orina (EFSA, 2014b).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

### 2.5.1.9. Cobalto

El cobalto (Co), de número atómico 27 y peso molecular de 58,9 g/mol, es un metal de transición que se encuentra presente de forma natural en la corteza terrestre en concentraciones que oscilan entre los 20 y 25 mg/kg, es el trigésimo tercero metal más abundante en la corteza terrestre (WHO, 2006). Puede encontrarse en forma divalente ( $\text{Co}^{2+}$ ), siendo la más estable, o trivalente ( $\text{Co}^{3+}$ ).

Este metal es esencial tanto en animales como en humanos debido a que es un componente de la cobalamina (Fig. 13) o vitamina B<sub>12</sub>, necesaria para el correcto funcionamiento del cerebro, sistema nervioso, síntesis de proteínas y regulación del ADN, etc (Schrauzer, 1976;

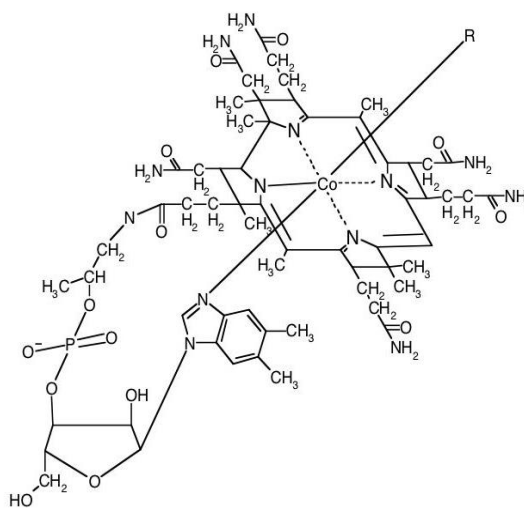


Figura 13. Estructura química de la cobalamina

Healton et al., 1991; Blanco, 2006).

El déficit de Co puede provocar anemia, anorexia y retardo en el crecimiento (Blanco, 2006). Sin embargo, debido a que los requerimientos diarios son bajos y a que este metal se encuentra en un gran número de alimentos, estos efectos son muy raros.

El Co puede ser incorporado al organismo a través de la ingesta de Vitamina B<sub>12</sub>, cuyos requerimientos diarios establecidos por la FESNAD son de 2 mg/día para hombres y mujeres adultos (FESNAD, 2010).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Debido a que su presencia en los alimentos es baja, una ingesta excesiva de Co es difícil. Un posible efecto derivado de una ingesta excesiva de Co podría ser la alteración de la homeostasis del calcio debido a que el Co puede actuar bloqueando los canales celulares de calcio. No se encuentran límites máximos ni para el Co ni para la vitamina B<sub>12</sub> (IOM, 2001).

Los alimentos que pueden considerarse fuente de Co son las verduras, en especial las de hoja verde, y los cereales frescos. Normalmente, los alimentos refinados presentan menores contenidos en Co. La vitamina B<sub>12</sub>, que contiene Co, se encuentra mayoritariamente en los productos de origen animal (WHO, 2006).

La mayor parte de Co absorbido es de tipo inorgánico, éste se absorbe a través del tracto gastrointestinal, en un porcentaje que oscila entre el 18 y el 97% pues la absorción de Co depende del estado nutricional del individuo y del tipo de compuesto de Co ingerido (WHO, 2006). Una vez absorbido, este metal se distribuye por el organismo encontrándose mayoritariamente en el hígado, intestinos, corazón y riñones. La eliminación de este metal es principalmente a través de la orina (WHO, 2006; Ohashi et al., 2006).

*2.5.1.10. Molibdeno*

El molibdeno (Mo) es un metal de transición de número atómico 42 y con un peso molecular de 96,0 g/mol. Este elemento es esencial para el organismo humano y animal, que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre (SCF, 2000).

Una de las curiosidades de este metal es que es el único metal de la segunda serie de transición considerado como esencial.

La esencialidad de este elemento se debe a que es un importante cofactor de importantes metaloenzimas involucradas en el catabolismo de las purinas, piridinas y de

35

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

los aminoácidos de azufre (Mills y Davis, 1987; IOM, 2001; Blanco, 2006; EFSA, 2013a).

El déficit de Mo ocasiona una deficiencia en las molibdoenzimas (xantina deshidrogenasa y sulfito oxidasa) puede provocar desórdenes neurológicos, retardos en el crecimiento, queratinización ineficiente, irritabilidad, taquicardia, etc (SCF, 2000; WHO, 2011a; EFSA, 2013a). El valor diario recomendado de Mo establecido por la FESNAD para adultos es de 45 mg/día (FESNAD, 2010).

Mientras que, una excesiva ingesta de Mo puede provocar efectos sobre el sistema reproductivo, aunque estos efectos han sido observados en animales de experimentación, dado que una ingesta excesiva de este metal es poco probable. No obstante, individuos que sufran una deficiencia de Cu o que padezcan alguna enfermedad que ocasione problemas en el metabolismo del Cu, son más vulnerables a las ingestas elevadas de Mo (IOM, 2001). Los límites máximos de ingesta fijados por el IOM para hombres y mujeres adultos son de 2 mg/día (IOM, 2001).

Los alimentos que contienen los mayores niveles de Mo son las legumbres, los granos y sus derivados, y las nueces (SCF, 2000; IOM, 2001; WHO, 2011a).

La absorción del Mo, a nivel gastrointestinal, depende del tipo de su forma química. La forma hexavalente (VI) es rápidamente absorbida tras la ingestión, mientras que, la forma tetravalente (IV) se absorbe en menor proporción. Alrededor del 30 – 70% del Mo total ingerido es absorbido, pasando rápidamente a los órganos y la sangre. Las mayores concentraciones de este metal se encuentran en el hígado, los riñones y los huesos, aunque no se han encontrado evidencias de bioacumulación de este metal. (WHO, 2011a; EFSA, 2013a). La eliminación de Mo es a través de la orina y las heces (EFSA, 2013a).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

*2.5.1.11. Manganeso*

El manganeso (Mn) de peso molecular 54,9 g/mol y número atómico 25, es uno de los metales más abundante en la corteza terrestre. Este metal, perteneciente a los metales de transición guarda una estrecha relación con el Fe, siendo el comportamiento químico de ambos muy similar (WHO, 2011b).

El Mn es un elemento esencial necesario pues forma parte de numerosas enzimas como las peptidasas, las fosfatasas, la arginasa, la fosfoglucomutasa, la glucosil transferasas, etc (Blanco, 2006), siendo necesario para el correcto metabolismo de los aminoácidos, el colesterol y los carbohidratos (IOM, 2001). El Mn está involucrado en la formación de los huesos (IOM, 2001; WHO, 2011b).

La ingesta deficitaria de Mn, aunque es poco frecuente, puede provocar alteraciones en la síntesis de oligosacáridos, glucoproteínas, proteoglicanos, debido a la disminución de la glucosil transferasa formada por Mn. Otros efectos derivados de una deficiencia de manganeso son problemas reproductivos y estructura ósea defectuosa. La FESNAD recomienda una ingesta diaria de Mn de 1,8 mg/día para mujeres adultas y de 2,3 mg/día para hombres adultos (FESNAD, 2010).

El Mn es neurotóxico, elevadas ingestas de este metal afectan al sistema nervioso central, y pueden provocar un aumento en la concentración de sangre, debida a su estrecha relación con el hierro, así como debilidad muscular, descoordinación motora, etc (IOM, 2001; WHO, 2011b). Los valores máximos (UL) establecidos por el IOM tanto para mujeres como para hombres adultos son de 11 mg/día (IOM, 2001).

Los alimentos que pueden ser considerados como fuente de Mn son, principalmente, las nueces, cereales enteros y las verduras. Aunque, también puede

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

encontrarse en carnes, pescado y derivados lácteos (IOM, 2001; Blanco, 2006; WHO, 2011b).

La absorción de este metal a nivel gastrointestinal depende del estado del individuo, siendo mayor en los niños por encontrarse en desarrollo. Esta absorción, además, está ligada a la absorción de Fe, dietas deficitarias en Fe provocan un incremento de la absorción tanto de Fe como de Mn.

Una vez absorbido, el Mn se distribuye por todo el organismo, especialmente en el hígado, riñones y páncreas. La mayor parte del Mn ingerido es eliminada a través de las heces, es destacable que, al contrario del resto de metales estudiados, la orina contiene bajas cantidades de Mn (WHO, 2011b).

*2.5.1.12. Yodo*

El yodo (I), cuyo peso molecular es de 126,9 g/mol y su número atómico es 53, es un no metal perteneciente al grupo de los halógenos. Este elemento está ampliamente distribuido en la naturaleza, especialmente, abunda en el medio marino dónde pueden encontrarse concentraciones alrededor de los 50 – 60 µg/L de agua marina (Hetzel y Maberly, 1986).

Este elemento puede encontrarse en tres formas iónicas diferentes debido a sus estados de oxidación. El ion más común es el yoduro (I<sup>-</sup>), cuyo estado de oxidación es 1-, generalmente se encuentra formando sales como el yoduro de sodio (NaI) o el yoduro de potasio (KI). Sin embargo, también es frecuente encontrar el yodo en forma de yodatos (IO<sub>3</sub><sup>-</sup>, IO<sub>4</sub><sup>-</sup>), cuyos estados de oxidación son 5+ y 7+, respectivamente.

El yodo se encuentra presente en el medio ambiente procedente de la erosión de los suelos, en especial, de rocas y suelos volcánicos (EFSA, 2014c). El yodo liberado procedente de los sedimentos marinos puede acumularse en los organismos marinos como

38

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

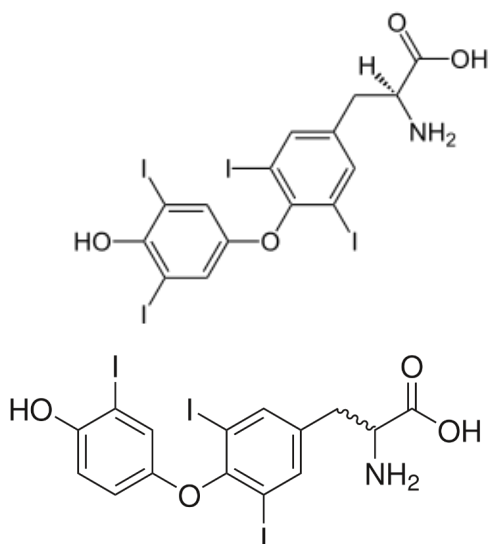
25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

las algas. Es poco frecuente que se produzcan emisiones de yodo procedentes de actividades antropogénicas (Leblanc et al., 2006).

En cuanto al ciclo del yodo en la naturaleza, éste se encuentra de forma natural en el medio marino evaporándose en forma de compuestos orgánicos de yodo molecular ( $I_2$ ), que posteriormente son depositados en medio terrestre con la lluvia.

El yodo es un elemento esencial para el ser humano pues forma parte de las hormonas tiroideas (Morreale de Escobar y Escobar del Rey, 2000; Blanco, 2006; Untoro et al., 2010; Zimmermann, 2011; Fuge y Johnson, 2015). En la Figura 14 se encuentra la estructura química de la tiroxina o T4 y de la triyodotironina o T3.



**Figura 14.** Estructura química de las hormonas tiroideas. Tiroxina (T4) arriba y Triyodotironina (T3) abajo

Una ingesta deficitaria de yodo puede provocar problemas graves como hipotiroidismo, bocio, cretinismo, entre otros (Wisnu, 2008; Andersson et al., 2010; Melse-Boonstra y Jaiswal, 2010; Shelor y Dasgupta, 2011; Shelor et al., 2011).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

Por ese motivo, diversos organismos como la institución americana “Institute of Medicine” o la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, European Food Safety Authority) han fijado unos valores guía de ingesta diaria recomendada de yodo siendo 150 µg/día para adultos (IOM, 2001; EFSA, 2014c).

No obstante, la ingesta excesiva de yodo puede producir una inhibición de la síntesis de las hormonas tiroideas debido a que los yoduros (I<sup>-</sup>), en grandes concentraciones, actúan directamente sobre la tiroides dando lugar al conocido como *efecto de Wolff-Chaikoff* (Barrett et al., 2010). Diversos estudios afirman que la excesiva ingesta de yodo puede dar lugar a una excesiva secreción de hormonas tiroideas, provocando hipertiroidismo, bocio, hiperactividad, taquicardia, cáncer de tiroides, etc (Pennington, 1990; Martino et al., 2001; Bürgi, 2010; Luo et al., 2014; Wang et al., 2016).

Dados los efectos derivados de una ingesta elevada de este elemento, el *Institute of Medicine* ha establecido un valor de ingesta diaria admisible (IDA) de 1100 µg/día para adultos (IOM, 2001).

Entre los alimentos que pueden considerarse fuente de yodo, son las algas las que destacan considerablemente, con unos aportes tan elevados que han sido sugeridos límites de ingesta de algas (Hou et al., 1997; Chance et al., 2009; Stévant et al., 2018).

Algunas algas como las hijiki recomiendan no superar un consumo de 5 gramos de alga deshidratada al día. Además, se han detectado casos de hipertiroidismo asociados a un elevado consumo de algas (Salas Corona et al., 2002).

El yodo una vez ingerido, es reducido en el intestino a yoduro. El yoduro es absorbido casi en su totalidad por el intestino delgado. La absorción de yoduro es de alrededor del 90% del total ingerido (EFSA, 2014c). Una vez absorbido, éste pasa a la sangre y se distribuye por los tejidos, acumulándose en las glándulas de la tiroides,

40

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

mayoritariamente. En adultos sanos, con niveles normales de yodo en el cuerpo, la mayor parte del yodo ingerido es excretado con la orina.

### 2.5.2. Metales tóxicos y/o no esenciales



#### Metales tóxicos y/o no esenciales

- **Tóxicos**  
(Al, Cd, Pb, Hg)
- **Elementos no esenciales**  
(V, B, Ba, Li, Ni, Sr)

En cuanto a los metales tóxicos y/o no esenciales, pueden encontrarse los **elementos traza no esenciales**, entre los que se encuentran vanadio (V), boro (B), bario (Ba), litio (Li), níquel (Ni), estroncio (Sr), que se diferencian de los metales tóxicos en que éstos se encuentran de forma natural en el medio

siendo además, esenciales para diversos organismos vegetales y animales como por ejemplo, el caso de las ascidias en las que se encuentran elevadas concentraciones de vanadio e incluso, éstas presentan moléculas llamadas hemovanadinas. Sin embargo, esencialidad de los elementos mencionados anteriormente, no ha sido demostrada en los seres humanos.

Finalmente, los **metales tóxicos** como el aluminio (Al), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), son contaminantes ambientales procedentes, mayoritariamente, de las actividades antropogénicas como la minería o el uso incontrolado de pesticidas. Estos metales son tóxicos incluso en pequeñas cantidades. Su principal problema es la elevada tendencia a acumularse en los tejidos y, consecuentemente, estos metales se biomagnifican a lo largo de la cadena alimentaria (Reilly, 1980; Nordberg et al., 2007).

En el caso particular de las algas, estas tienen una gran capacidad de absorción que puede conllevar una acumulación elevada de metales tóxicos en las mismas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Numerosos estudios han demostrado correlaciones entre el contenido de metales en los sedimentos, el agua y las algas (Akcali y Kucuksezgin, 2011; Rybak et al., 2012). Además, es necesario tener en cuenta que los mares están expuestos a una gran contaminación. Por ese motivo, el estudio del contenido de metales tóxicos de las algas puede servir como indicador de la calidad de las aguas.

*2.5.2.1. Aluminio*

El aluminio (Al) es un metal del bloque p de la tabla periódica, de número atómico 13 y peso molecular de 26,9 g/mol. Es el tercer elemento más abundante de la corteza terrestre.

El Al se encuentra de forma natural en el entorno. Sin embargo, las concentraciones de este metal han aumentado debido, tanto a las actividades antropogénicas como la extracción de bauxita o las industrias de aluminio, como a actividades naturales de erosión y acidificación de los suelos (Sjögren et al., 2007; Hardisson et al., 2017).

El Al es un metal neurotóxico carente de funcionalidad en el organismo humano. La toxicidad de éste depende de la solubilidad del compuesto de aluminio y de la ruta de exposición. Este metal tiende a acumularse en el cerebro, huesos, hígado y riñones. Una exposición prolongada a elevados niveles de Al ha sido relacionada con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Arvand y Kermanian, 2012; Martínez et al., 2017). Además, el Al puede interferir con otros metales esenciales como el Ca (Davidson et al., 2007; Krewski et al., 2007). Debido a los efectos tóxicos del Al, la EFSA ha establecido una ingesta semanal tolerable (TWI, tolerable weekly intake) de 1 mg Al/kg peso corporal/semana (EFSA, 2011a).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Aunque el Al suele encontrarse en diferentes alimentos, son las hojas de té, cacao y derivados, y especias los que presentan las mayores concentraciones (EFSA, 2008). Esto se debe, en parte, a los suelos de bajo pH en los que se cultivan estas plantas. También pueden encontrarse concentraciones altas de Al en productos procesados, por uso de aditivos alimentarios que contengan Al como el E-523 (sulfato de aluminio y amonio) o el E-554 (aluminosilicato de sodio), o por migración desde los envases (EFSA, 2013b).

Las algas pueden contener concentraciones elevadas de aluminio, especialmente aquellas que crezcan en aguas cercanas a zonas industrializadas (Golding et al., 2015).

La absorción de Al por vía gastrointestinal es baja, siendo de 0,3% del Al presente en el agua de consumo y del 0,1% del Al presente en alimentos y otras bebidas, aproximadamente. Sin embargo, un aumento de la acidez favorece la absorción de aluminio (EFSA, 2011a). Una vez absorbido, el Al se enlaza a las moléculas de transferrina y circula a través de la barrera hematoencefálica.

Los riñones son los responsables de la eliminación del Al, que es expulsado con la orina y las heces en cantidades de entre 15 – 55 µg/día (Sjögren et al., 2007).

#### *2.5.2.2. Cadmio*

El cadmio (Cd) es un metal de transición tóxico de número atómico 48 y peso molecular de 112,4 g/mol. Este metal puede encontrarse formando parte de minerales como las blendas o esfaleritas, formadas por sulfuro de zinc, en las que puede encontrarse trazas de Cd que, por su gran afinidad con el Zn, sustituyen a éste. Su persistencia en el medio ambiente y su tendencia a acumularse, hacen que el Cd sea uno de los contaminantes de mayor impacto.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

El Cd es usado en aleaciones, pilas y baterías, por lo que las actividades antropogénicas son la principal fuente de Cd en el ambiente, pudiendo llegar al agua de consumo y los alimentos.

Incluso a bajas concentraciones el Cd tiene efectos tóxicos debido a su elevada vida media y su bioacumulación (Barbier et al., 2005). El Cd<sup>2+</sup> compite en el organismo con otros cationes divalentes como el Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> o el Cu<sup>2+</sup>, esenciales para el desarrollo de múltiples funciones fisiológicas (Goyer, 1997). Es precisamente el carácter divalente del Cd el que le confiere la capacidad de formar un gran número de complejos de coordinación estables con biomoléculas, alterando el funcionamiento de éstas.

Este metal afecta principalmente al sistema renal, causando daños irreversibles en los túbulos renales, los cuales están implicados en los mecanismos de reabsorción de nutrientes (Godt et al., 2006; Liu et al., 2009; Fowler, 2009). Además, interfiere en la homeostasis del Ca y afecta al sistema cardiovascular.

El Cd es un inductor de formación de metalotioneína. El complejo formado entre el Cd y la metalotioneína, [Cd-MT] es estable e inerte, permaneciendo en el hígado donde es metabolizado dando lugar a metabolitos de bajo peso molecular. El complejo [Cd-MT] atraviesa la membrana glomerular, donde los lisosomas destruyen el complejo dejando Cd (II) libre que, nuevamente inducirá la formación de metalotioneína (Casas et al., 2002).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

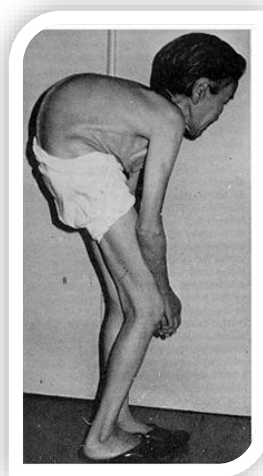
María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

El Cd es un contaminante cuyas mayores concentraciones se encuentran en cereales como el arroz, tubérculos como las papas o en los vegetales (Rubio et al., 2006).

Este hecho es preocupante, en especial en aquellas personas que sigan dietas vegetarianas o consuman grandes cantidades de arroz, como en el caso de Japón, cuyo alimento básico es el arroz. Es precisamente en este país donde se produjo una intoxicación crónica alimentaria por Cd procedente del consumo de arroz contaminado por vertidos industriales.



**Figura 15.** Individuo afectado por la contaminación del arroz en Japón (Enfermedad de Itai-Itai)

Esta intoxicación dio lugar a la conocida como enfermedad de Itai-Itai (Fig. 15), una malformación del esqueleto que producía dolores agudos (Inaba et al., 2005).

Las algas pueden absorber importantes cantidades de Cd dada su gran capacidad de absorción. Esta absorción depende del tipo de alga y de la calidad del entorno en el que se encuentra (Shams El-Din et al., 2014; Singh et al., 2016).

Dadas las graves consecuencias de una elevada ingesta de Cd, la EFSA ha fijado una ingesta semanal tolerable de 2,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal/semana (EFSA, 2011b).

En personas no fumadoras, la principal vía de absorción del Cd es a través del tracto gastrointestinal. Una vez absorbido, este metal es transportado a través de la sangre, unido a diversas moléculas, una de ellas, la metalotioneína juega un importante papel en el transporte de Cd en los humanos (Nordberg et al., 2007; Klaassen et al., 2009). Una pequeña fracción, de entre el 0,01 – 0,02 % del cadmio absorbido es excretado con la orina y las heces, el resto se acumula en el organismo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

*2.5.2.3. Plomo*

El plomo (Pb) es un metal pesado de número atómico 82 y peso molecular de 207,2 g/mol. Es uno de los contaminantes más conocidos. Aunque sus efectos nocivos eran conocidos desde la época de los romanos, quienes se refirieron a los síntomas producidos por intoxicación por Pb como “saturnismo”, eso no ha impedido que, hasta hace relativamente pocos años, haya sido uno de los metales que más se ha usado, formando parte importante en la industria militar, en la elaboración de pigmentos, o como aditivo de combustibles (Singh et al., 1997).

Este metal neurotóxico tiende a la acumulación en el organismo causando serios daños sobre el sistema nervioso central (SNC), en especial, en niños en desarrollo y fetos (Mahaffey, 1977; Rabinowitz et al., 1980; Carpenter, 2001; Rubio et al., 2004). Pudiendo causar nefropatías, alteraciones del tracto gastrointestinal y Alzheimer (Nordberg et al., 2007). El Pb, que puede encontrarse como  $Pb^{2+}$  es capaz de reemplazar al Zn, inhibiendo la actividad enzimática.

Debido a la amplia distribución del Pb, éste puede encontrarse en trazas en gran cantidad de alimentos y en el agua de consumo. Aunque, las frutas, verduras y cereales son las mayores fuentes de Pb, debido al depósito de partículas de plomo presentes en la atmósfera (Nordberg et al., 2007).

En las algas, el Pb puede acumularse llegando a niveles peligrosos para el ser humano. El plomo llega al ambiente procedente de diversas fuentes, una vez en el medio marino se encuentra como  $Pb^{2+}$ , éste forma complejos orgánicos que son absorbidos por las algas y acumulados en éstas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

La AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) ha sugerido un valor de TDI (tolerable daily intake) de 0,5 µg/kg de peso corporal/día para el Pb (AECOSAN, 2012).

Estudios de absorción a nivel gastrointestinal llevados a cabo con marcadores radiactivos han mostrado una absorción de entre el 37 – 70 % del Pb total ingerido. Otros estudios, muestran una menor absorción (15 – 20 %). La absorción varía de un individuo a otro y depende de diversos factores, por ejemplo, deficiencias de Fe incrementan la absorción de Pb, mientras que, la presencia de compuestos como los fitatos, produce una disminución (Nordberg et al., 2007; Charlet et al., 2012).

El plomo absorbido se distribuye por todo el organismo tanto en tejidos blandos como duros, la acumulación en tejido óseo es elevada dada la capacidad del Pb para interferir en la homeostasis del calcio. Una parte atraviesa la barrera hematoencefálica y se concentra en la materia gris del cerebro (Charlet et al., 2012). Por último, la eliminación de este metal tóxico se hace a través de la orina y las heces.

#### 2.5.2.4. Mercurio

El mercurio (Hg) de número atómico 80 y peso molecular de 200,6 g/mol, es un elemento químico perteneciente al bloque d de la tabla periódica. Su característica más destacable es que es el único elemento metálico que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente (Nordberg et al., 2007).

Este metal es uno de los tóxicos más conocidos. Ampliamente distribuido en la corteza terrestre, éste ha sido extraído en minas de cinabrio (sulfuro de mercurio) por su valor como material de lámparas fluorescentes, termómetros, barómetros, pigmentos, etc.

Sin embargo, este metal presenta una elevada toxicidad y una marcada tendencia a acumularse y biomagnificarse a lo largo de la cadena trófica. De entre los diferentes

47

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

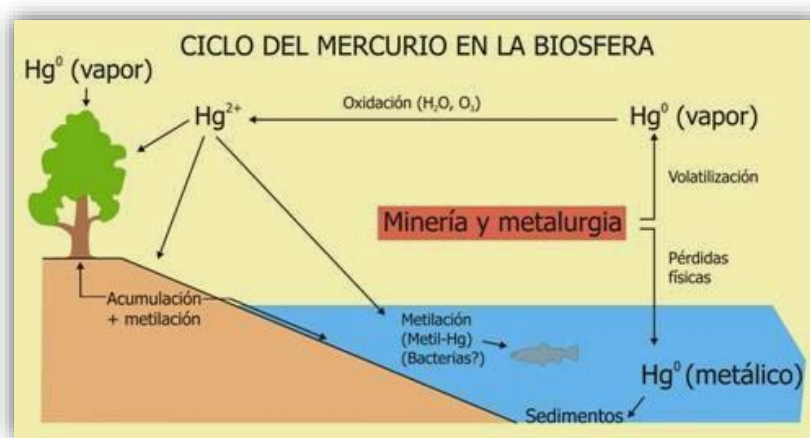
María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

compuestos de mercurio que pueden encontrarse, el metilmercurio (MeHg) es el más tóxico y peligroso de todos pues, este compuesto orgánico tiene gran afinidad por las grasas siendo, además, capaz de atravesar la barrera placentaria (Alvares et al., 1972; Alli et al., 2000; Berlin et al., 2007; Rubio et al., 2008; Carro et al., 2009; Grandjean, 2017).

En la Figura 16 se encuentra esquematizado el ciclo del mercurio en la biosfera. En este ciclo puede observarse como el mercurio va formando diferentes compuestos, orgánicos e inorgánicos.



**Figura 16.** Ciclo del mercurio en la biosfera

La acumulación de mercurio en las algas se debe a la deposición del mercurio metálico en los sedimentos que, tras la actuación de diversas bacterias, es metilado pasando a mercurio orgánico y acumulándose en los organismos marinos como las algas.

Los efectos tóxicos de este elemento están relacionados con la forma química en la que se encuentra, así como, la vía de ingreso al organismo. Por vía digestiva, el compuesto de mercurio que mayores repercusiones tiene es el metilmercurio. Éste es un agente neurotóxico que se acumula en los tejidos nerviosos (Burbacher et al., 1990; van

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Wijngaarden et al., 2017). Al tratarse de un compuesto orgánico, este compuesto puede atravesar las membranas celulares atacando a los grupos nucleofílicos y a las enzimas del sistema nervioso central (SNC) (dos Santos et al., 2016).

Una exposición prolongada a metilmercurio provoca severos daños en el cerebro, sordera, pérdida de vista, debilidad, problemas de motricidad y trastornos psicológicos. En el caso de los niños o de mujeres embarazadas, es necesario tener en cuenta que, el metilmercurio puede atravesar la barrera placentaria causando daños irreversibles sobre el feto (Berlin et al., 2007; Myers et al., 2009; EFSA, 2012; Fujimura et al., 2016).

Dados los efectos tóxicos y la tendencia del mercurio a acumularse, la EFSA (European Food Safety Authority) ha fijado unos valores de ingesta semanal tolerable (TWI, tolerable weekly intake) de 4 µg/kg de peso corporal/semana para mercurio inorgánico y de 1.3 µg/kg de peso corporal/semana para metilmercurio (EFSA, 2012).

La absorción de metilmercurio por vía gastrointestinal es elevada, de alrededor del 80%. Mientras que, la absorción del mercurio inorgánico es menor, llegando a ser del 2 al 38% (EFSA, 2012). Una vez absorbido, el MeHg atraviesa las membranas celulares y se acumula en los tejidos. Las mayores concentraciones de este compuesto han sido encontradas en el riñón. La eliminación del mercurio depende de la forma química en la que se encuentre, así pues, el mercurio inorgánico se elimina con la orina y las heces, mientras que el metilmercurio permanece en el cuerpo alrededor de 70 – 80 días y, pasado este tiempo, es eliminado como mercurio inorgánico con las heces (EFSA, 2012).

#### 2.5.2.5. Boro

El boro (B) de número atómico 5 y peso molecular 10.81 g/mol, es un elemento perteneciente al grupo 13 o de los boroideos, siendo considerado como un metaloide, es decir, que exhibe características de metal y no metal.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Este elemento no puede considerarse tóxico como el Cd o el Hg pues se encuentra de forma natural en el ambiente y en los alimentos. La esencialidad del B en el ser humano no ha sido demostrada, aunque diversos estudios han encontrado relaciones entre el boro y el metabolismo de las hormonas esteroideas (Nielsen et al., 1987; Nielsen, 1994; Devirian y Volpe, 2003). El boro es un elemento esencial para otros organismos animales y vegetales (Camacho-Cristóbal et al., 2008). Debido a que este elemento es de vital importancia para los vegetales, son estos productos los que mayores niveles de B presentan (Davis et al., 2002).

El boro y sus compuestos se usan con fines industriales y domésticos. Este elemento aumenta la resistencia del acero, es un oxidante ampliamente utilizado en procesos metalúrgicos e incluso como conservante de alimentos (Crespo, 2001).

Una vez ingerido, el B es absorbido en forma de borato por el tracto gastrointestinal. Una parte del boro absorbido es acumulado en los huesos. El tiempo de vida del B en el organismo es de alrededor de 24 horas, siendo eliminado mayoritariamente con la orina (Samman et al., 1998).

Una ingesta excesiva de B en animales de experimentación muestra efectos adversos sobre el desarrollo y la función reproductora (IOM, 2001). Por ese motivo la agencia americana *Institute of Medicine, Food and Nutrition Board* ha fijado valores de ingesta máxima siendo de 20 mg/día para hombres y mujeres adultos (IOM, 2001).

*2.5.2.6. Bario*

El bario (Ba) de número atómico 56 y peso molecular de 137,3 g/mol es un elemento perteneciente al grupo de los alcalino – térreos. Es uno de los metales más abundante de la corteza terrestre.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

No se han encontrado evidencias que justifiquen la esencialidad del Ba en el organismo humano. Sin embargo, el Ba se encuentra en los tejidos óseos, músculos, cerebro y pulmones de los humanos (Nielsen, 1987a).

Se encuentra de forma natural en el ambiente y en los alimentos en niveles de concentración que normalmente no suponen un riesgo para la salud. Además, la absorción de este elemento por vía gastrointestinal y su retención en el organismo es bastante baja, siendo eliminado prácticamente en su totalidad con la orina (Nielsen, 1987a).

Una ingesta excesiva de Ba puede provocar taquicardia, hipertensión, hipotensión, debilidad muscular y parálisis. Estos síntomas se deben a que el Ba en el organismo humano actúa elevando los niveles de potasio intracelular. Aunque son raros los casos de intoxicación alimentaria con Ba, debido a sus efectos tóxicos, la *Scientific Committee on Health and Environmental Risks* (SCHER) ha fijado un valor de ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) de 0,02 mg/kg de peso corporal/día (SCHER, 2012).

*2.5.2.7. Vanadio*

El vanadio (V) de número atómico 23 y peso molecular 50,9 g/mol es un elemento perteneciente a los metales de transición (Calvino Casilda et al., 2005). Es un metal que no se encuentra en estado puro en la naturaleza, siendo muy frecuente encontrarlo en minerales como la vanadinita o la carnotita.

Este elemento, descubierto por el español Andrés Manuel del Río, es de vital importancia para organismos como las algas, donde se encuentra en concentraciones superiores al resto de organismos (Calvino Casilda et al., 2005). En estos organismos han sido encontradas enzimas de vanadio como la vanadina.

Aunque su esencialidad en los seres humanos no ha sido demostrada, diversos estudios sugieren que este metal es esencial en el organismo humano pues concluyen que

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

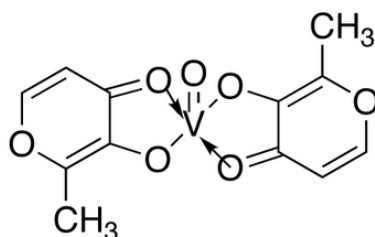
María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

la carencia de V repercute en el deterioro de los huesos e incluso en el metabolismo de las grasas y los carbohidratos encontrándose incluso, compuestos de vanadio como el bis(maltolato)oxovanadio (IV) o BMOV (Fig. 17), entre otros, con actividad insulino – mimética (Baran, 1997; Calvino Casilda et al., 2005; Alvino de La Sota et al., 2007; Casares Rivas et al., 2015). No obstante, debido a la falta de consenso no se establecen valores recomendados de ingesta para el V.



**Figura 17.** Estructura química del bis(maltolato)oxovanadio (IV) (BMOV)

La absorción de V por vía gastrointestinal es baja, aproximadamente del 5% del V ingerido es absorbido. Una vez absorbido, el V es transportado por la transferrina y es eliminado mayoritariamente con las heces (Nielsen, 1987b; EFSA, 2004). Su tiempo de permanencia en el organismo varía yendo desde los 15 minutos hasta casi 9 días.

Normalmente, los valores de este elemento en los alimentos no son elevados. No obstante, han sido observados trastornos gastrointestinales en humanos derivados de ingestas excesivas de V. La organización americana *Institute of Medicine, Food and Nutrition Board* ha fijado una ingesta máxima de 1.8 mg/día (IOM, 2001).

#### 2.5.2.8. Estroncio

El estroncio (Sr) de número atómico 38 y peso molecular de 87,6 g/mol, es un elemento perteneciente al grupo de los alcalino – térreos. El estroncio es un metal cuya esencialidad en el organismo humano no ha sido probada, aunque si es un elemento esencial en algunos organismos vegetales (Nielsen, 2004).

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Se han observado efectos beneficiosos relacionados con el estroncio, pues debido a su elevada afinidad por el calcio, éste se deposita sobre los huesos aumentando la dureza y disminuyendo la osteoporosis. El ranelato de estroncio está siendo usado para reducir el riesgo de fracturas de huesos en pacientes con osteoporosis (Fig. 18).



**Figura 18.** Ranelato de estroncio

El estroncio contenido en los alimentos es absorbido por vía gastrointestinal, una vez absorbido, el organismo discrimina entre Ca y Sr, eliminando al estroncio con la orina. Cabe destacar que con el aumento de la edad disminuye el porcentaje de absorción de este metal (Nielsen, 2004).

Aunque se desconocen casos de intoxicación alimentaria por estroncio, una ingesta elevada de este elemento puede causar una deficiencia de fósforo, debido a que compite con este elemento, y su acumulación en los huesos podría conllevar un aumento de la densidad ósea.

Es por eso que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un valor de ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) de 0,13 mg/kg de peso corporal/día (WHO, 2010).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

#### 2.5.2.9. Litio

El litio (Li) de número atómico 3 y peso molecular 6,94 g/mol, es un metal perteneciente al grupo I de los alcalinos. El Li tiende a formar sales con el cloro encontrándose como cloruro de litio o el cloruro de bario (Fig. 19). Las principales minas de litio se encuentran en Argentina, Chile y Bolivia.



**Figura 19.** Minas de sales de litio

Es uno de los elementos más usados debido a que es un constituyente necesario de las pilas y baterías de dispositivos electrónicos como los móviles, tablets y ordenadores portátiles. Actualmente, debido al auge de los coches híbridos y eléctricos, la producción de litio ha sufrido un aumento considerable, pues las baterías de estos coches son de ion-litio.

Las sales de litio son usadas para el tratamiento del trastorno bipolar y en otras psicopatologías. Estas sales actúan estabilizando el estado de ánimo a través del bloqueo de la liberación de dopamina y del remplazo del Na en el canal sináptico, haciendo que se ralentice el potencial de acción, consiguiendo así un estado de calma en el paciente (Domínguez Ortega et al., 2006).

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

No se conocen casos de intoxicación por litio a través de los alimentos. No obstante, una ingesta elevada de este elemento puede provocar alteración de la conciencia, temblores, ataxia, apatía, náuseas, vómitos, poliuria, miopatía, etc (Domínguez Ortega et al., 2006; AECOSAN, 2006a).

El litio es absorbido por vía gastrointestinal, una vez absorbido no se une a ninguna molécula y viaja libre. No es metabolizado por el organismo, siendo excretado con la orina (Mertz, 1987; Tellería Martín et al., 2000).

A pesar de sus efectos tóxicos, no se establecen límites máximos de ingesta de litio. Aunque han sido observados efectos agudos a dosis de 500 mg de Li al día (AECOSAN, 2006a).

*2.5.2.10. Níquel*

El níquel (Ni) de número atómico 28 y peso molecular de 58,7 g/mol, es un metal perteneciente a los metales de transición. Es un elemento ampliamente usado en aleaciones como el acero inoxidable por la resistencia a la corrosión además de su dureza.

El Ni se encuentra de forma natural en los alimentos. No se ha demostrado la esencialidad en los seres humanos, aunque en diversos estudios se ha comprobado que este elemento es un cofactor de metaloenzimas (Fig. 20) en organismos vegetales y otros organismos animales (Nielsen, 1987c). La relación existente entre el níquel y la enzima ureasa hace de éste un elemento esencial para las plantas (Dalton et al., 1988; Rodríguez-Jiménez et al., 2014).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

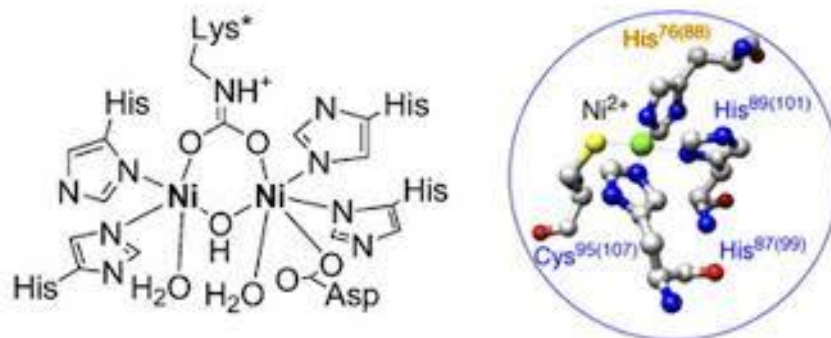
Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



**Figura 20.** Metaloenzima de níquel

Sin embargo, los efectos tóxicos derivados de una elevada ingesta de níquel en el ser humano han sido demostrados (Das et al., 2008). En animales de experimentación cambios notables en el peso corporal. En individuos con hipersensibilidad al Ni o con problemas renales son susceptibles de sufrir daños por ingesta de Ni (IOM, 2001). Por ese motivo, la organización americana *Institute of Medicine* (IOM) ha fijado un valor máximo de ingesta tolerable de 1 mg/día, aunque este valor es muy superior al fijado por la agencia europea *European Food Safety Authority* (EFSA), quienes fijan un valor de ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) de 2.8 µg Ni/kg de peso corporal/día (EFSA, 2015e).

No obstante, estudios muestran bajos porcentajes de absorción de Ni a través de la vía gastrointestinal, siendo menor al 10% de la ingesta total de este elemento. El níquel es eliminado con las heces (Nielsen, 1987c).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

# Material y Métodos



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Muestras

Se han analizado un total de 387 muestras de algas comerciales y salvajes, de las cuales:

- 230 muestras de algas comerciales procedentes de Asia y Europa, y algas salvajes procedentes de Tenerife (Islas Canarias, España), han sido usadas para el análisis de 20 metales (Na, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu, Cr, B, Ba, Pb, Cd, Al, Sr, Li, Ni, Co, Mn, Mo, V).
- 50 muestras de algas comerciales y salvajes, procedentes de Asia y Europa, para el análisis del contenido en yodo (I).
- 107 muestras de algas comerciales procedentes de Asia y Europa y salvajes procedentes de Tenerife (Islas Canarias, España), para la determinación de mercurio (Hg).

La siguiente tabla recoge las características de las muestras de algas comerciales analizadas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características de las muestras de algas comerciales analizadas

Nombre común	No. muestras	Especie	Tipo	Origen	Cultivo	Envase
Wakame	15	<i>Undaria pinnatifida</i>	Alga marrón	Golfo de Vizcaya y Aguas portuguesas, Galicia, España	Ecológico	Plástico
Wakame	8			China	Convencional	Plástico
Wakame	2			Tailandia	Convencional	Plástico
Espagueti de mar	15	<i>Himanthalia elongata</i>		Golfo de Vizcaya y	Ecológico	Plástico

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

<b>Kombu</b>	15	<i>Laminaria ochroleuca</i>		Aguas portuguesas, Galicia, España	Ecológico	Plástico
<b>Hijiki</b>	8	<i>Hizikia fusiforme</i>		Japón	Salvaje ("wild harvested")	Plástico
<b>Ensalada de algas congelada (wakame)</b>	10	<i>Undaria pinnatifida</i>		Taiwán	Convencional	Plástico
<b>Ensalada de algas (mezcla de wakame, kombu y espagueti de mar)</b>	8	<i>Undaria pinnatifida, Laminaria ochroleuca, Himanthalia elongata</i>		Golfo de Vizcaya y Aguas portuguesas, Galicia, España	Ecológico	Lata
<b>Musgo de Irlanda</b>	4	<i>Chondrus crispus</i>			Ecológico	Plástico
<b>Nori</b>	4	<i>Porphyra spp.</i>	Alga roja	Japón	Convencional	Plástico
<b>Nori</b>	4	<i>Porphyra spp.</i>		Golfo de Vizcaya y Aguas portuguesas,	Ecológico	Plástico
<b>Dulse</b>	4	<i>Palmaria palmata</i>			Ecológico	Plástico
<b>Lechuga de mar</b>	4	<i>Ulva lactuca</i>	Alga verde	Galicia, España	Ecológico	Plástico

Las muestras de algas comerciales fueron adquiridas entre enero y febrero del 2017, en los principales centros comerciales y herbolarios de la isla de Tenerife (Islas Canarias, España). Fueron llevadas al laboratorio y almacenadas a temperatura ambiente, en sus recipientes originales hasta su procesamiento.

La tabla que se encuentra a continuación recoge las especies, zonas y características de las algas salvajes recolectadas en las islas de Tenerife (Islas Canarias, España) (Tabla 3).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

**Tabla 3.** Características de las muestras de algas salvajes de las costas canarias analizadas

Nombre común	No. muestras	Especie	Origen	Tipo
Alga espárrago	20	<i>Asparagopsis spp.</i>	Porís de Abona, Tenerife	Alga roja
Liágora	10	<i>Liagora spp.</i>		
Halopteris	12	<i>Halopteris scoparia</i>	El Socorro, Tenerife	Alga marrón
Sargaso	10	<i>Sargassum fluitans</i>		
Cola de pavo	10	<i>Padina pavonica</i>	Porís de Abona, Tenerife	Alga marrón
Mujo	10	<i>Cystoseira spp.</i>		
Mujo	10	<i>Cystoseira spp.</i>	Punta del Hidalgo, Tenerife	Alga verde
Ovas	20	<i>Enteromorpha spp.</i>		Alga marrón
Haliptilon	12	<i>Haliptilum virgatum</i>	Porís de Abona, Tenerife	Alga verde
Lechuga de mar	14	<i>Ulva spp.</i>		
Deditos	20	<i>Dasycladus vermicularis</i>		

Las algas salvajes, fueron tomadas de diferentes puntos de la isla de Tenerife (Islas Canarias, España) (Fig. 21).

Los ejemplares fueron recogidos en bolsas de plástico herméticas y estériles que fueron cerradas y etiquetadas (fecha, zona de recogida, especie). Las muestras fueron llevadas al laboratorio inmediatamente y conservadas a temperatura de congelación de -18°C hasta el momento de su procesamiento.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

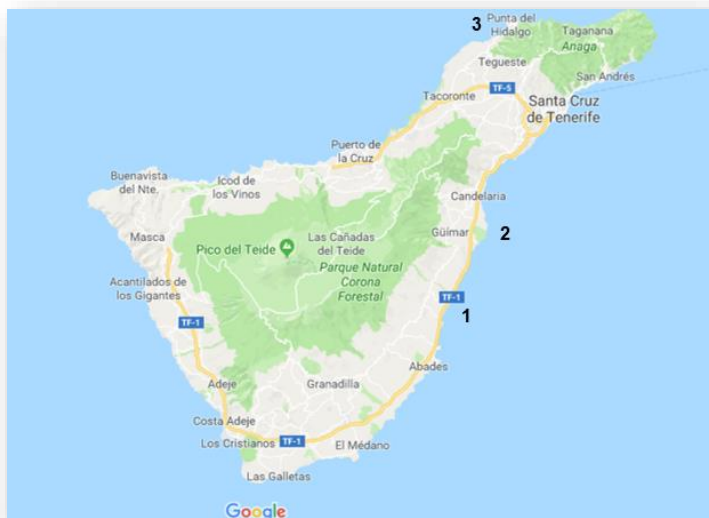
Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*



**Figura 21.** Áreas de muestreo de las algas salvajes: 1 Porís de Abona (Arico); 2 El Socorro (Güímar); 3 La Punta del Hidalgo (La Laguna)

### 3.2. Métodos analíticos y tratamiento de las muestras

Tanto para el tratamiento de las muestras como para el posterior análisis, han sido usados reactivos químicos de grado analítico y agua destilada de elevada pureza obtenida del sistema de purificación de agua Milli-Q (Millipore, MA, Estados Unidos). Además, para evitar posibles contaminaciones de las muestras, ha sido usado material de plástico (polietileno y polipropileno de alta densidad) y de vidrio, previamente lavado con detergente de laboratorio Acatonox (Merck, Alemania) y agua destilada (Rubio et al., 2018a). Para la determinación de los elementos anteriormente citados, ha sido necesario aplicar diferentes tratamientos de las muestras y diferentes métodos analíticos, los cuales se describen a continuación.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

3.2.1. Determinación del contenido metálico por espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

Se pesaron 3 gramos de cada muestra, previamente homogeneizada, en cápsulas de porcelana (Staalich, Alemania) haciendo uso de una balanza analítica (Metler Toledo, OH, Estados Unidos) y se sometieron a desecación en estufa (Nabertherm, Alemania) a 70 – 75°C durante 24 horas.

Posteriormente, se procedió a la digestión ácida en caliente de las muestras adicionando unos mL de HNO<sub>3</sub> al 65% (Merck, Alemania) y, tras la evaporación del ácido nítrico, fueron sometidas a incineración en un horno mufla (Nabertherm, Alemania) con un programa temperatura – tiempo de 420°C durante 24 horas, hasta la obtención de cenizas blancas (Hardisson et al., 2001; Gutiérrez et al., 2008; Rubio et al., 2017a).

Las cenizas resultantes fueron disueltas en ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 1,5% hasta un volumen de 25 mL, en un matraz aforado, y trasvasadas a envases estériles herméticos de polietileno con tapa, para su posterior análisis (Rubio et al., 2018b).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*



**Figura 22.** Foto del horno mufla usado para la incineración de las muestras (izquierda) y muestra de alga *Asparagopsis* en cápsula de porcelana (derecha)

Los metales se determinaron mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) modelo ICAP 6300 Duo Thermo Scientific (Waltham, MA, Estados Unidos) con un muestreador automático Auto Sampler (CETAX modelo ASX-520) (Fig. 23).



**Figura 23.** Foto del ICP-OES y del muestreador automático

Las condiciones instrumentales del espectrómetro fueron las siguientes: potencia aproximada de RF de 1150 W; flujo de gas (flujo de gas nebulizador,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

flujo de gas auxiliar) de 0,5 L/min; inyección de la muestra a la bomba de flujo de 50 rpm; tiempo de estabilización de 0 s (Ruíz-Navarro et al., 2013; Rubio et al., 2018c).

En la Tabla 4 se encuentran las longitudes de onda (nm) de cada metal analizado, así como los límites de detección y de cuantificación del método, que han sido calculados bajo condiciones de reproducibilidad, como tres y diez veces la desviación estándar (SD) resultante del análisis de 15 blancos (IUPAC, 1995).

**Tabla 4.** Longitudes de onda (nm), límites de detección y de cuantificación (mg/L) de los metales analizados

Metal	Longitud de onda (nm)	Límite de Detección (mg/L)	Límite de Cuantificación (mg/L)
Al	167,0	0,004	0,012
B	249,7	0,003	0,012
Ba	455,4	0,001	0,005
Ca	317,9	0,58	1,955
Cd	226,5	0,0003	0,001
Co	228,6	0,0006	0,002
Cr	267,7	0,003	0,008
Cu	327,3	0,004	0,012
Fe	259,9	0,002	0,005
K	769,9	0,565	1,884
Li	670,8	0,005	0,013
Mg	279,1	0,583	1,943
Mn	257,6	0,002	0,008
Mo	202,0	0,0007	0,002
Na	589,6	1,097	3,655
Ni	231,6	0,0007	0,003
Pb	220,3	0,0003	0,001
Sr	407,7	0,0007	0,003
V	310,2	0,001	0,005
Zn	206,2	0,002	0,007

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

El control de calidad del método, para asegurar la exactitud del procedimiento analítico, se ha realizado estudiando el porcentaje de recuperación obtenido con materiales de referencia bajo condiciones reproducibles. Los materiales de referencia empleados han sido del SRM 1515 Apple leaves, SRM 1570a Spinach leaves del “National Institute of Standard and Technology” (NIST) y el BCR 279 Sea lettuce del “British Certified Reference” (BCR).

La Tabla 5 muestra los porcentajes de recuperación obtenidos con los materiales de referencia, todos ellos mayores al 94%. Además, se realizó un análisis estadístico no encontrando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las concentraciones certificadas y las concentraciones obtenidas.

**Tabla 5.** Concentración certificada en mg/kg (media  $\pm$  SD, n = 3) de los materiales de referencia y porcentajes de recuperación (%) para los metales estudiados

Material	Metal	C. certificada (mg/kg)	C. obtenida (mg/kg)	Recuperación (%)
SRM 1570a Spinach leaves	Na	1,82 $\pm$ 0,04	1,81 $\pm$ 0,06	99,4
	Sr	55,6 $\pm$ 0,8	54,2 $\pm$ 0,30	97,5
	V	0,57 $\pm$ 0,03	0,55 $\pm$ 0,01	96,5
SRM 1515 Apple leaves	K	1,61 $\pm$ 0,02	1,60 $\pm$ 0,01	99,4
	Ca	1,53 $\pm$ 0,02	1,51 $\pm$ 0,01	98,7
	Mg	0,27 $\pm$ 0,01	0,26 $\pm$ 0,05	96,3
	B	27 $\pm$ 2	26,2 $\pm$ 0,03	97
	Ba	49	48,4 $\pm$ 0,02	98,8
	Cr	0,3	0,29 $\pm$ 0,02	96,7
	Co	0,09	0,09 $\pm$ 0,02	100
	Mn	54,0 $\pm$ 0,3	55,2 $\pm$ 0,30	102
	Mo	0,09	0,09 $\pm$ 0,01	100
	Fe	80 $\pm$ 0,0	79,3 $\pm$ 0,02	99,1
Ni	0,91 $\pm$ 0,12	0,89 $\pm$ 0,05	97,8	

65

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

	Al	286	284±0,50	99,3
<b>BCR 279 Sea lettuce</b>	Cu	13,1±0,4	12,7±0,30	96,9
	Zn	51,3±1,2	51,0±0,50	99,4
	Cd	0,27±0,02	0,26±0,01	96,3
	Pb	13,1±0,4	12,8±0,20	97,7
<b>Adiciones estándar</b>	Li	0,2±0,02	0,19±0,03	95,0

3.2.2. Determinación de mercurio por espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS)

0,2 mg de cada muestra fueron pesados en bombas de digestión ácida modelo 4744 con vaso para muestra de Teflón de la marca Parr Instrument, añadiendo 5 mL de solución sulfonítrica 1:1, previamente preparada y se procedió a su digestión en horno microondas con un programa de temperatura de 3 min para alcanzar 85°C, 9 min para alcanzar 145°C, 4 min para alcanzar 180°C, 15 min a 185°C y 25 min para alcanzar los 30°C. Finalmente, las muestras se llevaron a matraces aforados de 10 mL con HNO<sub>3</sub> al 1,5% (Rodríguez et al., 2018).

La determinación del mercurio fue llevada a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CV-AAS) (Hardisson y Lozano, 1985; AOAC, 1990; Hardisson et al., 1998; Hight y Cheng, 2005).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

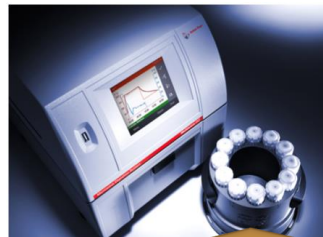
María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*



0,2 mg de muestra se pesaron en tubos de teflón y se añadieron 5 mL de solución sulfonítrica (1:1)



Digestión en horno microondas



Las muestras se llevaron a matraces de 10 mL con HNO<sub>3</sub> 1,5%



El contenido de mercurio se determinó con CV-AAS

**Figura 24.** Esquema del procedimiento para la determinación del mercurio

Este método es usado para la determinación de mercurio debido a que se trata de un metal volátil a bajas temperaturas, por lo que puede ser atomizado y determinado en forma de vapor frío. La determinación transcurre tras la adición de un agente reductor (SnCl<sub>2</sub>) a la muestra previamente digerida para liberar el mercurio mediante una reacción de reducción tras la cual se obtiene mercurio atómico volátil que es conducido hacia la celda del espectrofotómetro (IUPAC, 1998; Voegborlo y Akagi, 2007).

Con el objetivo de asegurar la precisión y la exactitud del método, se llevó a cabo el control de calidad previo al análisis de las muestras, el cual se ha basado en un estudio de recuperación de Hg tras varios procedimientos de digestión con

67

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

ácidos fuertes y Lumatom (disolución especial digestiva para el tratamiento de mercurio).

En la Tabla 6 se muestran los porcentajes de recuperación obtenidos para cada agente oxidante empleado. La solución sulfonítrica 1:1 empleada en el tratamiento de digestión de las muestras fue la que mayor porcentaje de recuperación ofreció (Hardisson et al., 1999; Rodríguez et al., 2018).

**Tabla 6.** Estudio estadístico de la recuperación de varios procedimientos de mineralización para la determinación de Hg

Agente oxidante / mL	°C / h	Reactor	% Recuperación	P <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HNO <sub>3</sub> / 10 (1:1)	45 / 15	No	96,7±5,0	> 0,05
HNO <sub>3</sub> / 10	100 / 1	Si	86,2±3,8	< 0,01
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HNO <sub>3</sub> / 10 (1:1)	100 / 1	Sí	83,8±3,4	< 0,01
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HCl / 10 (1:1)	100 / 1	Si	82,8±4,8	< 0,01
Lumatom / 5	45 / 24	No	93,7±5,0	< 0,01

La Tabla 7 recoge los resultados de las concentraciones de mercurio obtenidas con los materiales de referencia usados (NIST SRM 1577 BL o bovine liver y BRC-278 R MT o mussel tissue) para diferentes procedimientos de digestión (Microondas y solución sulfonítrica 1:1) (Hardisson et al., 1999).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

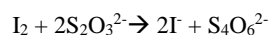
**Tabla 7.** Exactitud de las concentraciones de Hg medidas en un material de referencia (ng/g de peso fresco)

Material de referencia	Muestras	Procedimiento	Concentración obtenida	Concentración certificada (95%)
NIST SRM 1577 BL	11	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HNO <sub>3</sub>	3,6 ± 1,0	4 ± 2
NIST SRM 1577 BL	11	Microondas	3,5 ± 0,8	4 ± 2
BCR-278 R MT	11	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HNO <sub>3</sub>	0,196 ± 0,0009	0,195 ± 0,010
BCR-278 R MT	11	Microondas	0,193 ± 0,011	0,195 ± 0,010

3.2.3. Determinación de yodo por valoración de oxidación – reducción

La determinación cuantitativa de yodo se ha llevado a cabo mediante una valoración de oxidación – reducción.

El valorante empleado en esta valoración, el tiosulfato de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), es un agente reductor fuerte usado para la determinación de agentes oxidantes. La reacción que se produce entre el yodo y el tiosulfato de sodio es la siguiente:



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Para que la reacción transcurra, es necesario un medio ácido (pH menor a 7) que favorezca la formación del ion tetrionato ( $S_4O_6^{2-}$ ). El yodo en disolución presenta una coloración rosada (Fig. 25), por lo que el punto final de la valoración se establece con la desaparición del color rosado.



**Figura 25.** Extracción del yodo en disolución

El proceso de incineración de las algas permite eliminar la materia orgánica y obtener, en las cenizas resultantes, el yodo en forma inorgánica. Tras la incineración, el yodo inorgánico será oxidado pasando a yodo, el cual será valorado con tiosulfato de sodio.

La oxidación del yodato potásico contenido en las cenizas de las algas es un punto crucial de la determinación de yodo debido a la gran volatilidad de éste. Además, dado que el yodo es poco soluble en agua, debido a su naturaleza apolar, es necesario el uso de un disolvente orgánico para su extracción y posterior valoración (Senyk, 1977).

Las muestras comerciales de algas deshidratadas fueron homogeneizadas y pulverizadas, empleando una batidora de acero inoxidable (Bluesky, China). Se pesaron unos 10 gramos en cápsulas de porcelana (Staalich, Alemania) y se dejaron en estufa (Nabertherm, Germany) a 80°C durante 24 horas. Posteriormente, se sometieron a incineración en un horno mufla automático (Nabertherm, Germany), con un programa temperatura – tiempo de 500°C durante 20 minutos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Tras la obtención de cenizas blanco – grisáceas, éstas fueron disueltas en unos 30 – 40 mL de agua destilada, se añadieron unos trozos de porcelana porosa y se llevó a ebullición durante 5 minutos. A continuación, las cenizas fueron filtradas, por gravedad, en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Se realizaron pequeños lavados del filtro y de la cápsula de porcelana con agua destilada caliente.

Seguidamente, el contenido del matraz fue vertido en un embudo de decantación de 250 mL. Para extraer el yodo, se añadieron unos 25 mL de  $\text{CHCl}_3$  (Sigma-Aldrich, Estados Unidos), 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Honeybell Fluka, Alemania) 5 M y 5 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% (Foret S.A., España). Se cierra el embudo con un tapón de vidrio y se agita vigorosamente, purgando constantemente, y se deja decantar en un soporte adecuado. La fase inferior es la fase orgánica en la que se encontrará el yodo disuelto. Se recoge la fase orgánica en un matraz de 100 mL, y se repite el proceso anterior adicionando unos 15 mL de  $\text{CHCl}_3$ , hasta total extracción del yodo (ausencia de color rosado en la fase orgánica).

Rápidamente, se valora el yodo liberado con la disolución de tiosulfato 0,1 N (Merck, Alemania) que se encuentra en la bureta. El punto final de la valoración se manifiesta con la desaparición del color rosado. Este proceso debe hacerse inmediatamente después de la extracción para evitar pérdidas de yodo por volatilización. Se determina por duplicado cada muestra.

La concentración de yodo total se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración yodo total (mg/kg)} = V \cdot C \cdot \frac{1000}{m}$$

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Siendo, “V” el volumen gastado (mL) de tiosulfato de sodio en la valoración, “C” la concentración de tiosulfato de sodio y “m” el peso de la muestra (g).



**Figura 26.** Esquema del procedimiento de determinación de yodo

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

### 3.3. Cálculo de la ingesta diaria estimada (IDE) y porcentaje de contribución (%)

Con el objetivo de evaluar la ingesta dietética de los elementos estudiados, se ha calculado la ingesta diaria estimada (IDE) mediante la siguiente fórmula:

$$(1) \text{ IDE} = \text{Concentración de cada metal (mg/kg peso fresco)} \cdot \text{Consumo medio (kg/día)}$$

Una vez calculadas las IDEs de cada uno de los elementos analizados, se procede a calcular el porcentaje de contribución a la ingesta diaria recomendada (IDR), en el caso de macroelementos y elementos traza esenciales, y a la ingesta diaria o semanal tolerable (UL, TWI, TDI), en el caso de los metales tóxicos y elementos traza no esenciales (*ver capítulo Antecedentes y Revisión*), siguiendo la fórmula que se presenta a continuación:

$$(2) \text{ Porcentaje de contribución} = \frac{\text{EDI (mg/día)}}{\text{Valor límite o recomendado}} \cdot 100$$

### 3.4. Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el programa IBM Statistics SPSS 22.0 para Windows™. Se comprobó la normalidad de las muestras mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y Saphiro Wilk y el test de Homogeneidad de las Varianzas de Levene (Gutiérrez et al., 2008). Al no existir normalidad de los datos, se utilizaron pruebas no paramétricas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis (Rubio et al., 2017a, b; Sangiuliano et al., 2017; Rubio et al., 2018d; Paz et al., 2018b).

Este análisis estadístico se realizó con el fin de confirmar la existencia o no de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las diferentes muestras según su origen (Asia y Europa), tipo de alga (marrón, verde y roja o comercial y salvaje), especies, zona de recolección y tipo de cultivo (convencional y ecológico).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

# Resultados y Discusión



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Concentración de metales en las muestras de algas comerciales analizadas

La Tabla 8 recoge las concentraciones medias (mg/kg peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los macroelementos, elementos traza y metales tóxicos analizados en las diferentes especies de algas comerciales estudiadas.

**Tabla 8.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas comerciales

Metal	Wakame ( <i>Undaria pinnatifida</i> )		Espaguete de mar ( <i>Himanthalia elongata</i> )	Kombu ( <i>Laminaria ochroleuca</i> )	Ensalada de algas	
	Europa	Asia	Europa	Europa	Europa	Asia
<b>Ca</b>	3314±1303	3927±1222	3469±1526	2910±1267	2227±987	1327±623
<b>Na</b>	19783±9625	28246±2712	25085±7924	15031±10684	18277±8149	17199±3157
<b>K</b>	33714±13121	8640±2691	57480±19976	38410±15553	12580±5970	5259±2352
<b>Mg</b>	2768±1527	4662±1223	3537±1497	1653±1386	1111±582	525±534
<b>Co</b>	0,12±0,05	0,08±0,01	0,65±0,14	0,16±0,31	0,08±0,03	0,02±0,04
<b>Cr</b>	0,20±0,1	0,20±0,02	0,50±0,70	0,25±0,14	0,21±0,02	0,07±0,12
<b>Cu</b>	1,8±1,2	2,0±0,4	2,2±0,9	2,5±1,1	1,6±0,5	21,2±10,1
<b>Fe</b>	22,6±14	58,8±17	17,8±3,3	27,8±8,9	27±4,4	21,8±12
<b>Mn</b>	2,71±1,1	5,64±0,70	14,1±12	8,61±13	10,2±4,6	3,45±3,2
<b>Mo</b>	0,11±0,03	0,08±0,02	0,08±0,03	0,08±0,04	0,06±0,02	0,06±0,01
<b>Zn</b>	40,3±32	18,1±4,3	21,3±13	10,3±7,1	20,1±6,5	9,27±7,1
<b>B</b>	70,1±37	26,0±7,1	31,4±16	38,1±16	6,78±2,0	5,58±2,6
<b>Ba</b>	3,90±1,9	1,5±0,2	3,39±0,8	5,25±1,1	5,73±1,4	4,80±0,9
<b>Li</b>	1,73±1,1	0,62±0,4	1,02±0,6	1,00±0,7	1,12±1,5	1,30±1,0
<b>Ni</b>	0,38±0,1	0,44±0,03	1,62±0,2	0,48±0,6	0,43±0,1	0,24±0,2
<b>Sr</b>	< LOQ					
<b>V</b>	0,09±0,2	< LOQ	1,82±1,0	0,60±1,1	0,24±0,24	0,09±0,2
<b>Al</b>	31,5±17	20,0±4,4	19,1±8,6	34,7±22	15,5±4,2	57,7±35
<b>Cd</b>	0,04±0,03	1,11±0,3	0,11±0,12	0,08±0,1	0,12±0,05	0,06±0,06
<b>Pb</b>	0,30±0,1	0,31±0,06	0,23±0,07	0,38±0,2	0,27±0,07	0,49±0,2
<b>Hg</b>	0,012±0,002	0,011±0,001	0,015±0,003	0,024±0,001	0,016±0,002	< LOQ*

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

En cuanto al contenido de **macroelementos** (K, Na, Mg, Ca) son las **algas espaguete de mar** (*H. elongata*) procedentes de Europa las que presentan las mayores concentraciones de **K (57480 mg/kg p.s.)**, mientras que los mayores niveles de **Na (28246 mg/kg p.s.)**, **Mg (4662 mg/kg p.s.)** y de **Ca (3927 mg/kg p.s.)** han sido registrados en las **algas wakame** (*U. pinnatifida*) procedentes de Asia (Fig. 27). El contenido de K ha

75

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

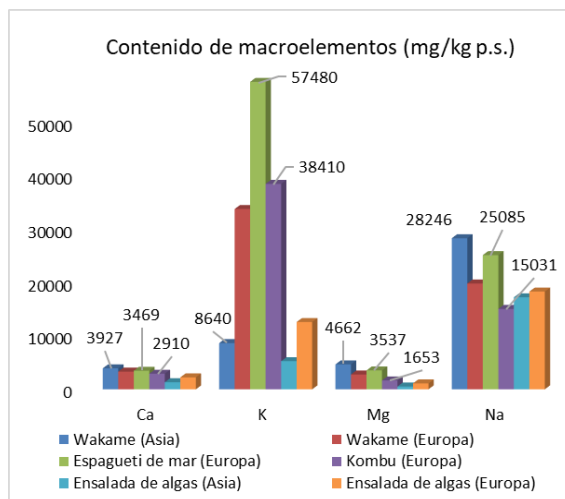
María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

resultado estadísticamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre todas las especies de algas en estudio, mientras que el contenido en Mg de las algas wakame y espagueti de mar, se diferencia significativamente de las otras especies analizadas.



**Figura 27.** Contenido de macroelementos (mg/kg peso seco) en las algas comerciales estudiadas

Los elementos traza que destacan notablemente son el **B**, **Fe** y **Zn** (Fig. 28). Las **algas wakame** procedentes de Europa son las que presentan la mayor concentración media de **B (70,1 mg/kg p.s.)** y de **Zn (40,3 mg/kg p.s.)** mientras en las **algas wakame** procedentes de Asia destaca el nivel medio de **Fe (58,8 mg/kg p.s.)**.

El análisis estadístico ha revelado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Co y Ni de las algas espagueti de mar con el resto de las algas estudiadas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

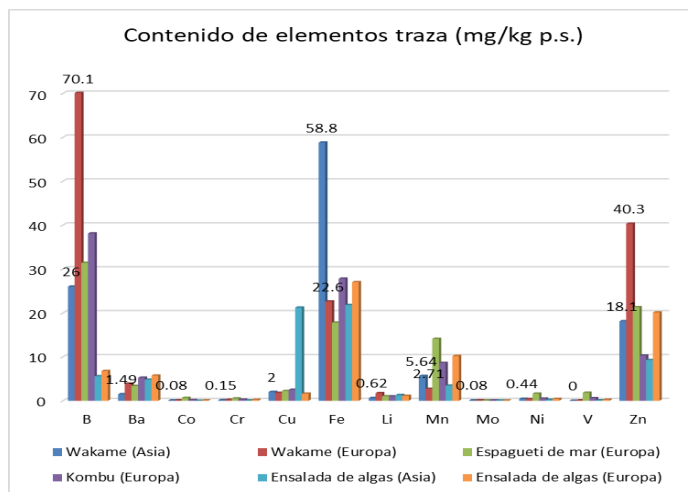


Figura 28. Contenido de elementos traza (mg/kg peso seco) en las algas comerciales estudiadas

El Al ha sido el metal tóxico mayoritario encontrado en las algas comerciales analizadas, obteniéndose la mayor concentración media de Al (57,7 mg/kg p.s.) en la ensalada de algas procedente de Asia (Fig. 29). No se han encontrado diferencias significativas en el contenido de aluminio entre las especies estudiadas.

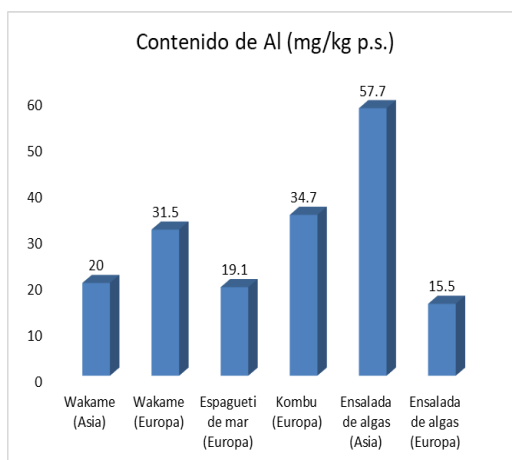


Figura 29. Contenido de aluminio (mg/kg peso seco) en las algas comerciales estudiadas

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

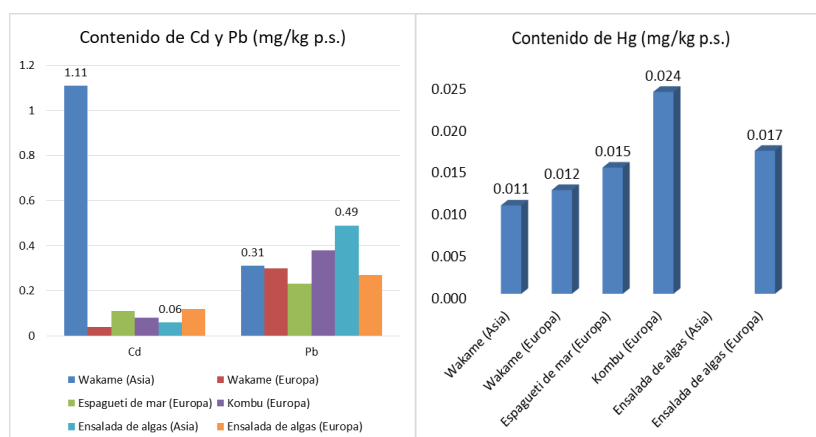
25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En cuanto al **Cd**, destaca considerablemente la concentración registrada en las **algas wakame** procedentes de Asia, cuyo nivel medio ha sido de **1,11 mg/kg p.s.** El nivel medio más elevado de **Pb (0,49 mg/kg p.s.)** ha sido encontrado en la **ensalada de algas** de Asia. Por último, la mayor concentración media de **Hg (0,024 mg/kg p.s.)** se ha registrado en las **algas kombu** (*Laminaria ochroleuca*) europeas (Fig. 30). No han sido detectadas diferencias significativas para ninguno de los metales tóxicos estudiados.



**Figura 30.** Contenido de cadmio, plomo y mercurio (mg/kg peso seco) en las algas comerciales estudiadas

El reglamento europeo no ha fijado límites máximos de metales tóxicos en este tipo de productos (CE, 2006). Sin embargo, se ha encontrado en la legislación del Gobierno de Francia valores máximos de Cd, Pb y Hg (Burtin, 2003). Teniendo en cuenta el límite de Cd establecido en 0,5 mg/kg de peso seco, se tiene que las algas wakame procedentes de Asia superarían dicho límite no siendo adecuadas para el consumo según las directrices francesas.

En general, se tiene que las **algas wakame** tanto europeas como asiáticas son las que presentan las **mayores concentraciones** de macroelementos y elementos traza. Mientras que, la **ensalada de algas asiática** ha sido la que ha presentado las mayores

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

concentraciones de **Al** y **Pb**. Estudios llevados a cabo por Khan et al. (2015) en algas wakame asiáticas muestran concentraciones de Cd (0,072 mg/kg p.s.) y Pb (0,05 mg/kg p.s.) siendo menores a los niveles encontrados en las algas wakame procedentes de Asia analizadas (Khan et al., 2015).

Un estudio más reciente realizado por Rubio et al. (2017a) en el que se analizaron algas wakame, muestra niveles medios de Al (11,7 mg/kg p.s.) bastante menores a los registrados tanto en algas wakame europeas como en las asiáticas, niveles de Cd (0,06 mg/kg p.s.) menores a las algas asiáticas estudiadas pero mayor a las europeas, y de Pb (0,07 mg/kg p.s.) menores a las algas wakame asiáticas y europeas analizadas (Rubio et al., 2017a). Asimismo, el mismo estudio muestra concentraciones medias en algas kombu de Al (7,97 mg/kg p.s.), Cd (0,07 mg/kg p.s.) y de Pb (0,07 mg/kg p.s.) menores a las encontradas en las algas kombu analizadas en el presente estudio. Mientras que, las concentraciones medias encontradas por Rubio et al. (2017a) en las algas espagueti de mar de Al (7,04 mg/kg p.s.) y Pb (0,02 mg/kg p.s.) menores a las algas espagueti de mar analizadas pero, el nivel medio de Cd (0,82 mg/kg p.s.) ha sido mayor al registrado en el presente estudio.

#### 4.2. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes recolectadas en la isla de Tenerife

##### 4.2.1. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Phaeophyta

En la Tabla 9 se exponen las concentraciones medias (mg/kg peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los macroelementos, elementos traza y metales tóxicos analizados en las diferentes especies de algas salvajes estudiadas del género Phaeophyta o algas pardas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

**Tabla 9.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas salvajes del género Phaeophyta

Metal	<i>Halopteris scoparia</i>	<i>Padina pavonica</i>	<i>Sargassum fluitans</i>	<i>Cystoseira spp.</i>		<i>Haliptilum virgatum</i>
	Porís de Abona		El Socorro	La Punta del Hidalgo	Porís de Abona	
<b>Ca</b>	20932±7984	76328±40970	5474±2387	3183±1025	28104±11113	26104±5084
<b>Na</b>	22588±4236	78948±32991	37889±13582	40725±5414	30954±5617	34021±1694
<b>K</b>	19611±3529	41504±10174	88748±35723	79101±19387	14286±1531	28578±1065
<b>Mg</b>	3274±1617	12246±4808	4119±2559	1991±613	5048±1632	9362±718
<b>Co</b>	0,11±0,1	0,64±0,6	0,25±0,09	0,39±0,2	0,37±0,2	0,11±0,0
<b>Cr</b>	0,90±0,4	2,10±1,7	0,20±0,2	0,35±0,2	1,04±0,4	0,20±0,03
<b>Cu</b>	3,80±2,3	12,6±7,8	4,20±1,3	4,57±1,1	5,17±2,3	4,51±1,3
<b>Fe</b>	185±191	1190±1545	59,3±24,5	45,5±19	392±436	42,6±5,4
<b>Mn</b>	6,90±6,6	52,3±41	422±1243	2,24±0,5	17,0±7,9	1,50±0,4
<b>Mo</b>	0,10±0,02	0,40±0,3	0,20±0,04	0,16±0,07	0,38±0,2	0,23±0,03
<b>Zn</b>	3,40±3,2	11,2±9,1	3,70±1,4	4,88±1,0	6,87±4,2	4,17±0,6
<b>B</b>	33,3±19	80,2±34	133±29	89,5±27	102±42	134±14
<b>Ba</b>	8,10±4,0	23,7±12	5,70±4,1	7,63±2,9	6,80±1,6	6,43±0,7
<b>Li</b>	1,28±0,1	4,30±2,7	4,73±3,3	2,92±1,4	2,02±0,5	1,79±0,4
<b>Ni</b>	0,90±0,8	3,70±3,0	0,90±0,3	1,17±0,3	1,95±0,7	1,34±0,2
<b>Sr</b>	< LOQ					
<b>V</b>	1,90±1,6	5,41±5,47	0,40±0,6	< LOQ	2,03±2,8	3,03±0,8
<b>Al</b>	132±66	256±179	57,7±15	38,7±37	252±137	36,3±4,0
<b>Cd</b>	0,07±0,01	0,20±0,2	0,16±0,06	0,24±0,07	0,13±0,08	0,19±0,02
<b>Pb</b>	1,90±1,6	3,92±3,7	0,40±0,2	0,33±0,09	1,93±1,5	0,31±0,06
<b>Hg</b>	< LOQ*					

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

Como puede apreciarse en la Tabla 9, de los cuatro **macroelementos** analizados (Na, K, Ca, Mg) destaca considerablemente el nivel medio de **K (88748 mg/kg p.s.)** encontrado en las algas de la especie *Sargassum fluitans* procedentes de El Socorro. Por otro lado, son destacables las concentraciones medias de **Na (78948 mg/kg p.s.)** y **Ca (76328 mg/kg p.s.)** encontradas en las algas de la especie *Padina pavonica* recogidas en el Porís de Abona. El análisis estadístico ha revelado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Na y Ca entre la especie *P. pavonica* y el resto

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

de las especies analizadas. Asimismo, el contenido de Mg encontrado en las especies *P. pavonica* y *H. virgatum* se diferencia estadísticamente entre sí y del resto de algas analizadas.

En cuanto a los **elementos traza**, la especie de algas *Padina pavonica* es la que destaca de entre el resto de especies analizadas con un contenido medio de **Fe de 1190 mg/kg p.s.**, seguido de la concentración media de **B (133 mg/kg p.s.)**, **Ba (23,7 mg/kg p.s.)** y **Cu (12,6 mg/kg p.s.)**. El nivel de Fe de las especies *Padina pavonica*, *Halopteris scoparia* y *Cystoseira spp.*, se diferencia significativamente ( $p < 0,05$ ) de las especies *Haliptilum virgatum* y *Sargassum fluitans*. Por otro lado, el contenido de Ba encontrado en la especie *P. pavonica* se diferencia estadísticamente del resto de las algas analizadas.

El **Al es el metal tóxico más abundante**, registrándose la mayor concentración media en las algas de la especie *Padina pavonica*, siendo de **256 mg Al/kg p.s.** Por otro lado, las mayores concentraciones de **Pb (3,92 mg/kg p.s.)** y **Cd (0,24 mg/kg p.s.)** han sido encontradas en las **algas de la especie *Padina pavonica* y *Cystoseira spp.*** (La Punta del Hidalgo), respectivamente. No han sido encontradas diferencias significativas en el contenido de ninguno de los metales tóxicos analizados.

Atendiendo a los límites máximos de Pb y Cd fijados por la legislación francesa, ninguna de las algas analizadas ha superado estos límites (Burtin, 2003), por lo que podrían ser aptas para el consumo.

La especie *Padina pavonica* ha **destacado notablemente por sus mayores concentraciones** de los metales analizados. Diversos estudios han mostrado que la absorción de metales varía mucho de una especie de alga a otra, por factores propios de cada especie, así como la estación del año en la que se recogen las algas, así pues, la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

*Padina pavonica* parece tener una mayor tendencia a absorber metales tóxicos como Al, Cd y Pb, y otros elementos traza como el Fe.

Campanella et al. (2001) encontraron en muestras de algas de la especie *Padina pavonica* procedentes del mar Mediterráneo, un nivel medio de Pb de 6,36 µg/kg peso seco, siendo menor al encontrado en las algas estudiadas. Sawidis et al. (2001), sin embargo, encontraron una concentración media de Pb de 2,1 mg/kg peso seco en algas de la especie *Padina pavonica* procedentes de Grecia, esta concentración está por debajo, pero es más similar a la encontrada en este trabajo. Por otro lado, Shams El-Din et al. (2014) encontraron concentraciones elevadas de Cd de 8,29 mg/kg en la especie *Padina boryana* procedente del mar Mediterráneo, esta concentración es mayor a la encontrada en las muestras de *Padina pavonica* estudiadas en este trabajo, sin embargo, estos autores confirman que, la *Padina* tiene una gran capacidad de absorción de metales tóxicos.

4.2.3. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Rhodophyta

En la Tabla 10 se exponen las concentraciones medias (mg/kg peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los macroelementos, elementos traza y metales tóxicos analizados en las diferentes especies de algas salvajes estudiadas del género Rhodophyta o algas rojas.

**Tabla 10.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas salvajes del género Rhodophyta

Metal	<i>Asparagopsis spp.</i>	<i>Liagora spp.</i>
	Porís de Abona	
Ca	18343 ± 9708	29414 ± 12742
Na	40064 ± 12245	29969 ± 7688
K	21613 ± 7721	18139 ± 6132
Mg	5597 ± 2072	3427 ± 1482
Co	0,37 ± 0,20	0,18 ± 0,14
Cr	1,10 ± 0,41	0,70 ± 0,16

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

<b>Cu</b>	4,90 ± 1,73	6,60 ± 4,71
<b>Fe</b>	320 ± 125	1190 ± 1545
<b>Mn</b>	22,4 ± 11,4	14,9 ± 9,92
<b>Mo</b>	0,20 ± 0,19	0,20 ± 0,07
<b>Zn</b>	7,80 ± 4,09	4,30 ± 3,18
<b>B</b>	77,9±39	80,2 ± 34,2
<b>Ba</b>	7,20±2,8	23,7 ± 12,3
<b>Li</b>	1,28 ± 0,11	4,30 ± 2,67
<b>Ni</b>	1,54 ± 0,40	3,70 ± 3,02
<b>Sr</b>	< LOQ*	
<b>V</b>	2,97 ± 0,80	5,41 ± 5,37
<b>Al</b>	288 ± 157	256 ± 179
<b>Cd</b>	0,07 ± 0,01	0,20 ± 0,21
<b>Pb</b>	3,10 ± 0,67	3,92 ± 3,71
<b>Hg</b>	< LOQ*	

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

El mayor contenido de **Ca (29414 mg/kg p.s.)** ha sido registrado en las muestras de alga *Liagora spp.*, este contenido puede deberse a que esta especie presenta un cuerpo calcificado. Mientras que las mayores concentraciones de **Na (40064 mg/kg p.s.)**, **K (21613 mg/kg p.s.)** y **Mg (5597 mg/kg p.s.)** se encuentran en las algas de la especie *Asparagopsis spp.* El análisis estadístico ha revelado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Ca, Mg y Na entre las dos especies analizadas.

El **Fe es el elemento traza** que destaca considerablemente, con la mayor concentración media (**734 mg/kg p.s.**) en las algas *Asparagopsis spp.* Como se ha indicado en el capítulo 2. *Revisión y Antecedentes*, las algas son una fuente destacable de Fe encontrándose niveles elevados en éstas. También es destacable el contenido de **B (80.2 mg/kg p.s.)** en las algas *Liagora spp.* El análisis estadístico ha confirmado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de B, Co, Cr, Fe y Ni entre ambas especies.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

El **Al** es el metal tóxico más abundante en ambas especies, siendo la *Asparagopsis spp.* la de mayor concentración media de **288 mg/kg p.s.** En cuanto a las mayores concentraciones medias de **Pb (3,92 mg/kg p.s.)** y **Cd (0,20 mg/kg p.s.)** se han registrado en las algas *Liagora spp.* Han sido encontradas diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Cd y Pb entre ambas especies.

Las dos especies de algas rojas analizadas presentan contenidos medios de Pb y Cd menores a los valores máximos establecidos por el Gobierno de Francia (Burtin, 2003), con lo cual su consumo no supondría un riesgo desde el punto de vista de los metales tóxicos.

4.2.4. Concentración de metales en las muestras de algas salvajes del género Chlorophyta

La Tabla 11 recoge las concentraciones medias (mg/kg peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los macroelementos, elementos traza y metales tóxicos analizados en las diferentes especies de algas salvajes estudiadas del género Chlorophyta o algas verdes.

**Tabla 11.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas salvajes del género Chlorophyta

Metal	<i>Dasycladus vermicularis</i>	<i>Ulva spp.</i>	<i>Enteromorpha spp.</i>
	Porís de Abona		El Socorro
Ca	10974 ± 2272	24029 ± 9283	3612 ± 1223
Na	26029 ± 1680	14232 ± 4971	42409 ± 3884
K	21866 ± 6005	18688 ± 7719	25724 ± 819
Mg	6457 ± 2001	2774 ± 217	12096 ± 4117
Co	0,23 ± 0,08	0,06 ± 0,02	0,02 ± 0,01
Cr	0,74 ± 0,28	0,70 ± 0,27	0,06 ± 0,03
Cu	3,83 ± 1,43	3,13 ± 1,41	1,08 ± 0,85
Fe	249 ± 19,5	141 ± 31,0	18,1 ± 2,11
Mn	15,8 ± 4,58	0,21 ± 0,10	0,78 ± 0,08
Mo	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,04	0,11 ± 0,01
Zn	6,04 ± 2,04	2,16 ± 0,43	0,45 ± 0,05
B	35,5 ± 3,10	5,40 ± 2,13	133 ± 20,4

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

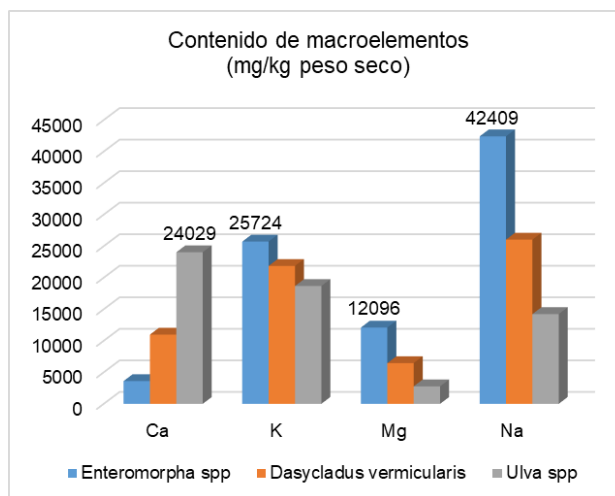
25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

<b>Ba</b>	4,52 ± 2,48	10,6 ± 3,12	0,89 ± 0,76
<b>Li</b>	1,48 ± 0,70	0,78 ± 0,09	2,02 ± 0,33
<b>Ni</b>	1,72 ± 0,56	0,41 ± 0,07	0,33 ± 0,04
<b>Sr</b>	< LOQ		
<b>V</b>	1,86 ± 1,17	3,87 ± 0,83	0,20 ± 0,14
<b>Al</b>	149 ± 12,4	75,9 ± 13,2	18,3 ± 2,24
<b>Cd</b>	0,07 ± 0,04	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,01
<b>Pb</b>	1,46 ± 0,84	1,43 ± 0,26	0,16 ± 0,07
<b>Hg</b>	< LOQ*		

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

Las algas *Enteromorpha spp.* son las que presentan las **mayores** concentraciones medias de **Na (42409 mg/kg p.s.)**, **K (25724 mg/kg p.s.)** y **Mg (12096 mg/kg p.s.)**. Mientras que, el mayor contenido de Ca ha sido registrado en las algas de la especie *Ulva spp.* con un contenido medio de **24029 mg/kg p.s** (Fig. 31). El estudio estadístico ha revelado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Ca, Mg y Na entre *D. vermicularis* y *Ulva spp.*



**Figura 31.** Contenido de macroelementos (mg/kg peso seco) en las algas verdes estudiadas

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

En cuanto a los elementos traza, destaca considerablemente el nivel medio de **Fe** (**249 mg/kg p.s.**) encontrado en las algas de la especie *Dasycladus vermicularis*, seguido por la concentración media de **B** (**133 mg/kg p.s.**) registrada en las algas de la especie *Enteromorpha spp* (Fig. 32). Han sido detectadas diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Ba, Co, Li y Ni entre las especies *D. vermicularis* y *Ulva spp*.

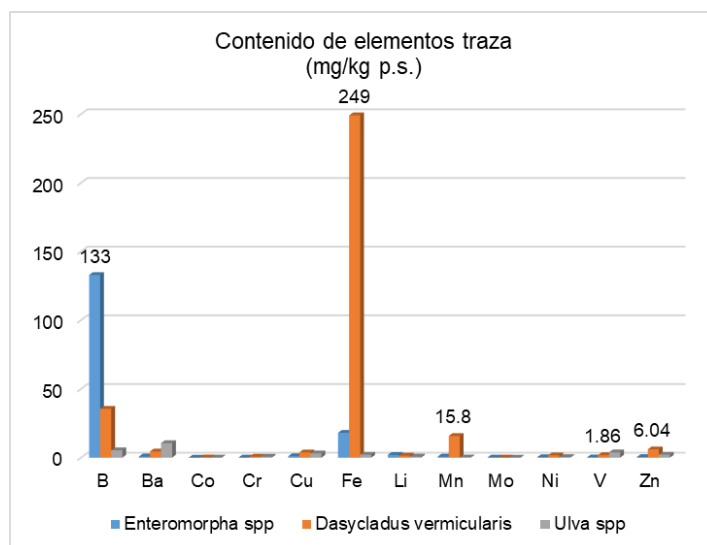


Figura 32. Contenido de elementos traza (mg/kg peso seco) en las algas verdes estudiadas

En lo referente al contenido de metales tóxicos, el **Al es el metal que destaca** en las tres especies de algas analizadas siendo registrado el mayor nivel medio de este metal en las algas de la especie *Dasycladus vermicularis*, con una concentración media de **149 mg/kg p.s** (Fig. 33).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

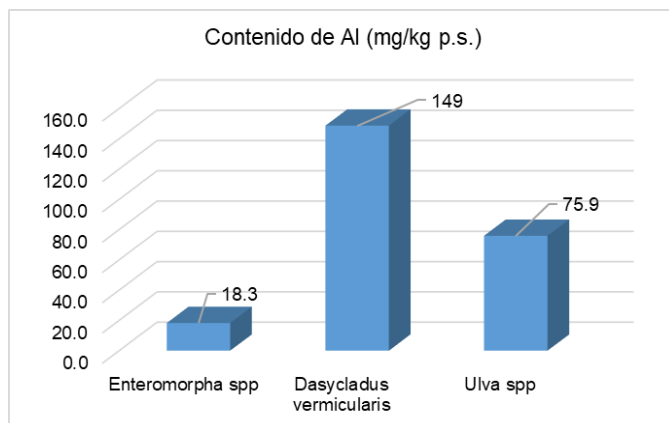


Figura 33. Contenido de aluminio (mg/kg peso seco) en las algas verdes estudiadas

El mayor contenido medio de **Pb** (1,46 mg/kg p.s.) y de **Cd** (0,07 mg/kg p.s.) también ha sido encontrado en las algas *D. vermicularis* (Fig. 34). No obstante, el análisis estadístico ha confirmado que no existen diferencias significativas ( $p = 0$ ) en el contenido de ninguno de los metales tóxicos analizados.

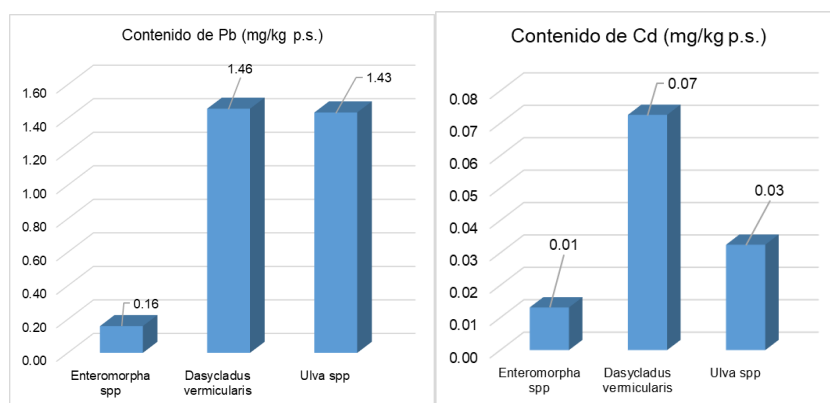


Figura 34. Contenido de cadmio y plomo (mg/kg peso seco) en las algas verdes estudiadas

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En líneas generales, se tiene que la especie *Dasycladus vermicularis* es la que **mayores concentraciones de elementos traza y metales tóxicos contiene**, mientras que la especie *Enteromorpha spp* destaca considerablemente en el **contenido de macroelementos**.

Respecto a las directrices francesas, ninguna de las algas verdes analizadas supera los valores máximos de Cd ni Pb (Burtin, 2003).

Un estudio llevado a cabo por Topcuoglu et al. (2003) en el que se determinó el contenido de elementos traza y metales tóxicos en algas de las costas de Turquía, se encontraron niveles medios de Cd (0,10 mg/kg p.s.), Co (0,32 mg/kg p.s.), Cr (1,1 mg/kg p.s.), Cu (2,53 mg/kg p.s.), Fe (235 mg/kg p.s.), Mn (9,5 mg/kg p.s.), Ni (31,0 mg/kg p.s.) y Pb (1,3 mg/kg p.s.) en algas de la especie *Ulva rigida*. Las concentraciones encontradas en el presente estudio para la especie *Ulva spp* son menores a las encontradas por el autor consultado, a excepción del contenido en Pb y Cu, cuyas concentraciones encontradas han sido superiores a las obtenidas por Topcuoglu et al. (2003).

El contenido metálico de las algas varía considerablemente dependiendo de los factores ambientales, época del año en la que se encuentra y factores propios de este organismo.

#### 4.2.5. Comparación del contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos entre las diferentes especies de algas salvajes analizadas

La Figura 35 muestra el contenido de macroelementos encontrados es las diferentes especies de algas recolectadas en la isla de Tenerife (Islas Canarias, España). Se tiene que la especie *Sargassum fluitans* destaca por su mayor contenido de **K (88748 mg/kg p.s.)**, mientras que, la especie *Padina pavonica* es la que registra las mayores concentraciones medias de **Na (78948 mg/kg p.s.) y de Ca (76328 mg/kg p.s.)**.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En cuanto a los elementos traza, nuevamente se registran las mayores concentraciones en las algas de la especie *Padina pavonica*, destacando el nivel medio de **Fe (1190 mg/kg p.s.)**. Las algas de la especie *Sargassum fluitans* destacan también por su elevado contenido en **Mn (422 mg/kg p.s.)**.

Por último, la especie *Asparagopsis spp* destaca por su mayor concentración media de **Al (288 mg/kg p.s.)** (Fig. 37). Asimismo, esta especie es la que registra el mayor nivel medio de **Pb (3.9 mg/kg p.s.)**, junto con la *Padina pavonica* (Fig. 38).

A la vista de los resultados, se tiene que son las algas pardas las que presentan las mayores concentraciones de macroelementos y elementos traza, seguidas de las algas rojas. Las algas verdes son las que contienen las menores concentraciones de los metales y elementos analizados.

Aunque el contenido de elementos depende de múltiples factores como el clima o la estación del año, un factor importante es el tipo de alga (roja, verde o parda).

Diversos estudios en los que se ha determinado el contenido de proteínas de los tres tipos de algas demuestran que las algas rojas y pardas son las que mayor contenido de proteínas presentan. Los metales se unen al oxígeno, nitrógeno y grupos sulfhidrilo de las proteínas, con lo que, a mayor contenido de proteínas, mayor será el contenido metálico (Mejárez y Bülow, 2001; Cuizano y Navarro, 2008).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

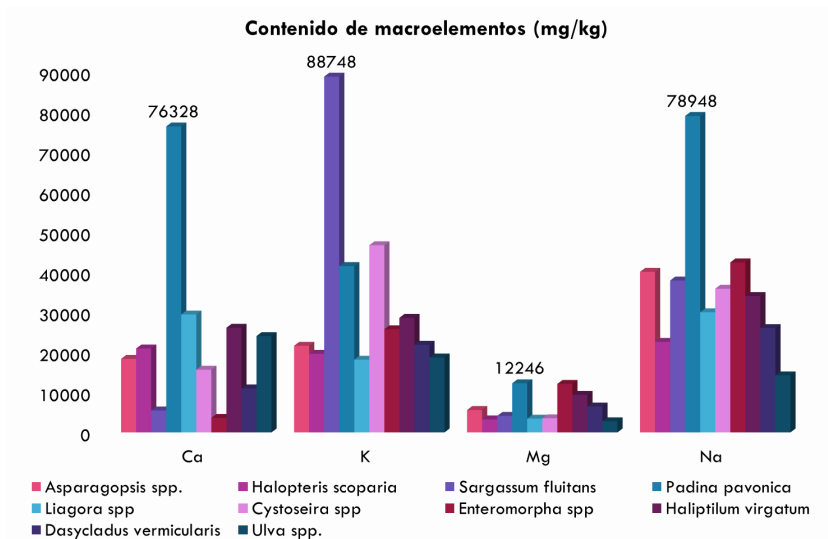


Figura 35. Contenido de macroelementos (mg/kg p.s.) en las algas salvajes de la isla de Tenerife

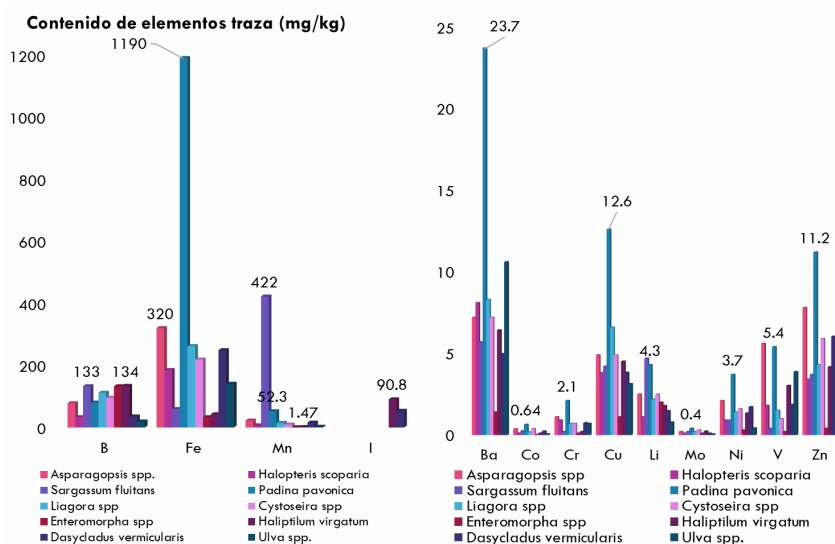


Figura 36. Contenido de elementos traza (mg/kg p.s.) en las algas salvajes de la isla de Tenerife

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

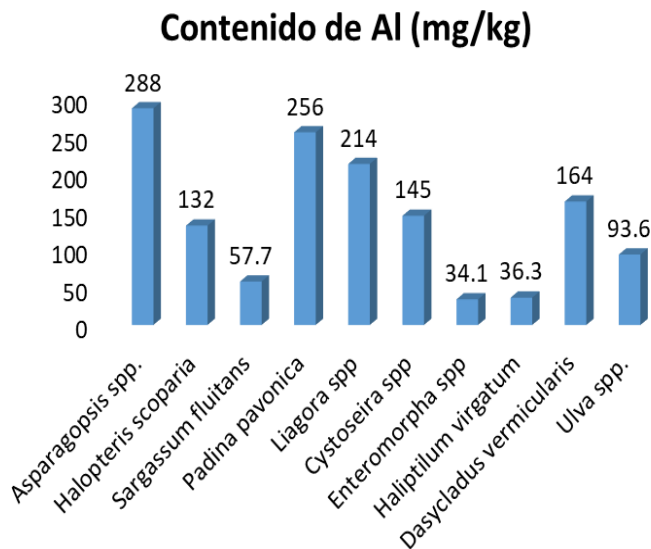


Figura 37. Contenido de aluminio (mg/kg p.s.) en las algas salvajes de la isla de Tenerife

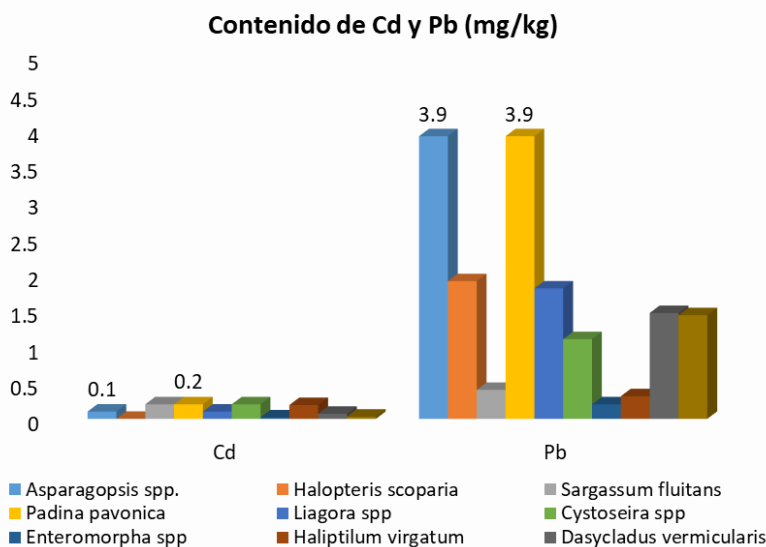


Figura 38. Contenido de Cd y Pb (mg/kg p.s.) en las algas salvajes de la isla de Tenerife

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

#### 4.3. Comparación del contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos entre las algas comerciales y las salvajes

La Tabla 12 muestra las concentraciones medias de los macroelementos, elementos traza y metales tóxicos analizados (mg/kg peso seco) y sus desviaciones estándar (SD) en las algas comerciales y salvajes.

**Tabla 12.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas comerciales y salvajes

Metal	Concentración (mg/kg peso seco) ± DE	
	Algas comerciales	Algas salvajes
Ca	2973 ± 1410	23154 ± 24246
Na	19818 ± 9422	38135 ± 20504
K	34274 ± 22386	33778 ± 27648
Mg	2378 ± 1732	5685 ± 3578
Co	0,24 ± 0,29	0,30 ± 0,26
Cr	0,28 ± 0,37	0,88 ± 0,81
Cu	4,21 ± 6,83	6,12 ± 5,38
Fe	25,4 ± 13,6	406 ± 623
Mn	7,90 ± 10	54,7 ± 380
Mo	0,08 ± 0,03	0,27 ± 0,34
Zn	21,0 ± 20,7	6,03 ± 4,50
B	37,3 ± 29,9	90,4 ± 61,5
Ba	4,30 ± 1,61	8,41 ± 6,51
Li	1,19 ± 0,91	3,67 ± 5,75
Ni	0,69 ± 0,62	1,76 ± 1,38
Sr	< LOQ*	
V	0,60 ± 1,02	4,87 ± 9,88
Al	30,4 ± 21,7	185 ± 172
Cd	0,14 ± 0,28	0,15 ± 0,13
Pb	0,30 ± 0,16	2,24 ± 3,88
Hg	0,015 ± 0,005	< LOQ*

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

Como puede observarse claramente en la tabla anterior, las algas salvajes recolectadas en las costas de la Isla de Tenerife presentan mayores concentraciones medias de los macroelementos (Na, K, Ca, Mg), elementos traza (Cu, Cr, Co, Fe, Mn,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

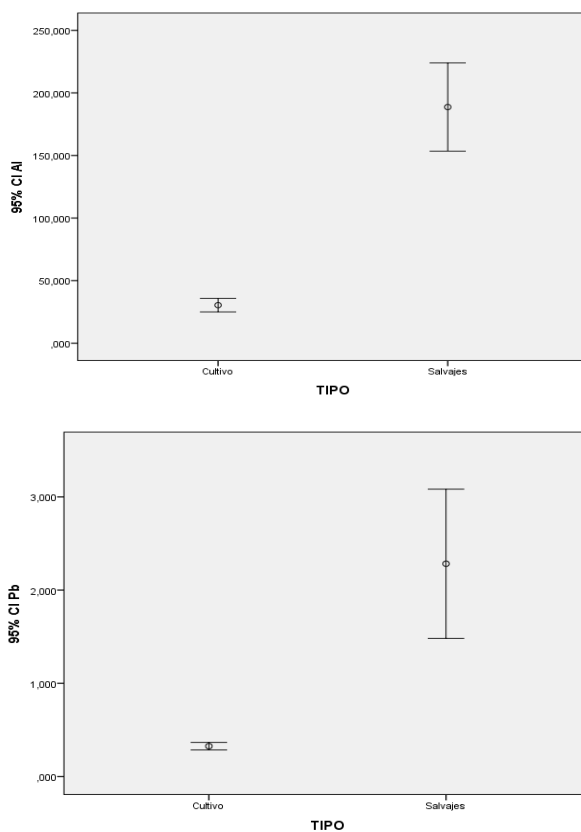
María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Mo, B, Ba, Li, Ni, V) y de los metales tóxicos (Al, Cd y Pb). A excepción del contenido medio en Zn, cuyo mayor nivel ha sido encontrado en las algas comerciales y el contenido en Hg, que sólo ha sido cuantificado en las algas comerciales, estando por debajo de 10 µg/kg p.s. en todas las muestras de algas salvajes analizadas.

El análisis estadístico ha confirmado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Zn, V, Pb, Ni, Na, Mo, Mn, Mg, Li, Fe, Cu, Cr, Co, Ca, Ba, B y Al. No encontrándose diferencias significativas ( $p = 0$ ) en el contenido de Cd y K entre algas comerciales o de cultivo y las algas salvajes (Fig. 39).



**Figura 39.** Comparación del contenido de Al y Pb entre tipos (comercial y salvaje)

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4.4. Contenido de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos por zonas

La Tabla 13 presenta las concentraciones medias (mg/kg peso seco) y la desviación estándar para los metales analizados teniendo en cuenta el origen de las algas.

**Tabla 13.** Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de los metales analizados en las algas dependiendo de su origen

Metal	Porís de Abona, Tenerife	El Socorro, Tenerife	La Punta de Hidalgo, Tenerife	China, Asia	Taiwán, Asia	Galicia, España
Ca	26727±24503	5474±2387	12459±12777	3927±1223	1327±623	3118±1350
Na	35658±22568	37889±13582	37562±6931	28246±2712	17198±3157	19527±9975
K	21418±10217	88748±35723	53348±29734	8640±2691	5259±2352	40041±20207
Mg	5665±3530	4119±2559	5924±4354	4662±1223	525±534	2451±1627
Co	0,34±0,32	0,25±0,09	0,25±0,22	0,08±0,01	0,02±0,04	0,28±0,30
Cr	1,08±0,77	0,16±0,16	0,26±0,17	0,15±0,02	0,07±0,12	0,32±0,39
Cu	5,81±4,46	4,22±1,29	4,17±1,60	1,97±0,39	21,2±10,1	2,13±1,08
Fe	603±766	59,3±24,5	45,2±24,3	58,8±17,3	21,8±12,0	23,4±10,0
Mn	22,2±21,2	422±1243	2,31±2,21	5,64±0,74	3,45±3,15	8,65±10,8
Mo	0,23±0,20	0,16±0,04	0,17±0,07	0,08±0,02	0,06±0,01	0,09±0,03
Zn	7,16±5,41	3,73±1,40	4,02±1,64	18,1±4,29	9,27±7,14	22,8±22,1
B	73,7±49,5	133±29,0	107±31,9	26,0±7,12	5,58±2,58	42,3±30,1
Ba	9,32±7,20	5,66±4,06	6,27±2,98	1,49±0,24	4,80±0,85	1,49±0,24
Li	2,28±1,82	4,72±3,30	2,41±1,11	0,62±0,39	1,30±0,96	1,22±0,93
Ni	1,98±1,45	0,88±0,34	1,09±0,41	0,44±0,03	0,24±0,16	0,77±0,65
Sr	< LOQ*					
V	3,77±5,14	0,36±0,56	1,17±1,56	< LOQ*	0,09±0,17	0,76±1,08
Al	227±165	57,7±15,3	37,4±28,4	20,0±4,40	57,7±34,8	27,6±17,6
Cd	0,12±0,12	0,16±0,06	0,20±0,09	1,11±0,33	0,05±0,06	0,08±0,10
Pb	3,02±4,41	0,43±0,22	0,32±0,11	0,31±0,06	0,49±0,22	0,30±0,15
Hg	< LOQ*			0,011	< LOQ*	0,017

\*Concentración menor al límite de cuantificación.

En cuanto a los macroelementos, se tiene que el nivel medio de **K (88748 mg/kg p.s.)** y **Na (37889 mg/kg p.s.)** destaca considerablemente en las muestras de algas procedentes de **El Socorro (Tenerife, España)**, mientras que las mayores

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

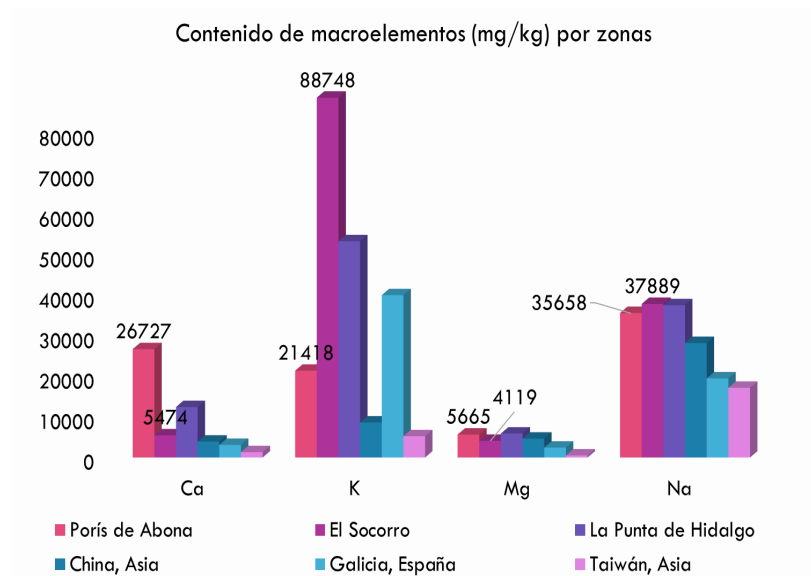
María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

concentraciones medias de **Ca (26727 mg/kg p.s.)** y **Mg (5665 mg/kg p.s.)** han sido registradas en las algas procedentes de **El Porís de Abona (Tenerife, España)** (Fig. 40).

El estudio estadístico ha revelado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Na entre las algas procedentes del Porís de Abona, la Punta de Hidalgo y El Socorro con las algas procedentes de China, Taiwán y Galicia. Así como, en el contenido de Mg entre las algas del Porís de Abona, la Punta del Hidalgo y El Socorro con las originarias de China y Galicia. En cuanto el contenido de K, es estadísticamente diferente entre las algas del Porís de Abona con el resto de las zonas. Y el nivel de Ca de las algas procedentes del el Porís de Abona y la Punta del Hidalgo, es estadísticamente diferente al resto de zonas.



**Figura 40.** Comparación del contenido de macroelementos por zonas de origen de las algas analizadas

En cuanto a los elementos traza (Fig. 41), el **Fe (603 mg/kg p.s.)** es el mayoritario cuyo mayor nivel medio ha sido encontrado en las algas de la zona del **Porís de Abona**

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

(Tenerife, España). También destaca el contenido de **Mn (422 mg/kg p.s.)** y **B (133 mg/kg p.s.)** en las algas procedentes de **El Socorro (Tenerife, España)**.

El análisis estadístico ha revelado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de Zn (entre todas las zonas), V (entre todas las zonas), Ni (entre todas las zonas menos El Socorro y Galicia), Mn, Li (solo para la algas procedentes de China con las de El Socorro), Fe (Porís de Abona se diferencia del resto de zonas), Cu (las algas de China y Taiwán se diferencian del resto de zonas), Cr (las algas procedentes del Porís de Abona se diferencian del resto de zonas), Co (solo las algas procedentes de China y Taiwán se diferencian del resto), Ba (Porís de Abona, Punta de Hidalgo y Galicia se diferencian entre ellas y con Taiwán, China y El Socorro) y B (entre todas las zonas).

El **Al** es el **metal tóxico que destaca** en todas las zonas analizadas, encontrándose la mayor concentración de **Al (227 mg/kg p.s.)** en las algas recogidas en el **Porís de Abona (Tenerife, España)**. Asimismo, es en las algas procedentes del **Porís de Abona** donde se registran las mayores concentraciones medias de **Pb (3,02 mg/kg p.s.)**. Mientras que, la mayor concentración media de **Cd (1,11 mg/kg)** se ha encontrado en las algas procedentes de **China (Asia)**. El nivel medio más elevado de **Hg (0,017 mg/kg)** se ha encontrado en las algas procedentes de **Galicia (España)** (Fig. 42).

Se han detectado diferencias significativas en el contenido de Pb y Cd entre todas las zonas analizadas, así como, diferencias significativas en el contenido de Al entre el Porís de Abona y el resto de zonas analizadas.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

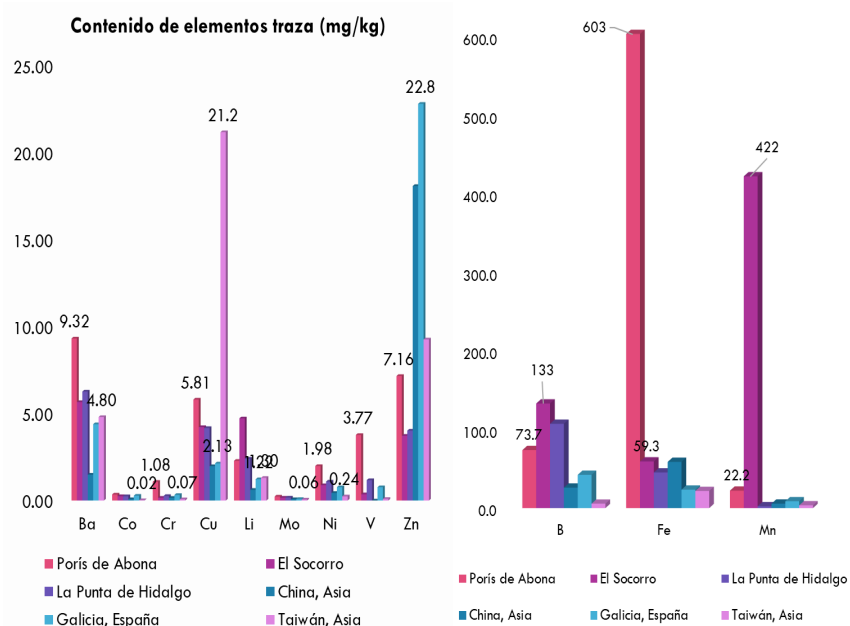


Figura 41. Comparación del contenido de elementos traza por zonas de origen de las algas analizadas

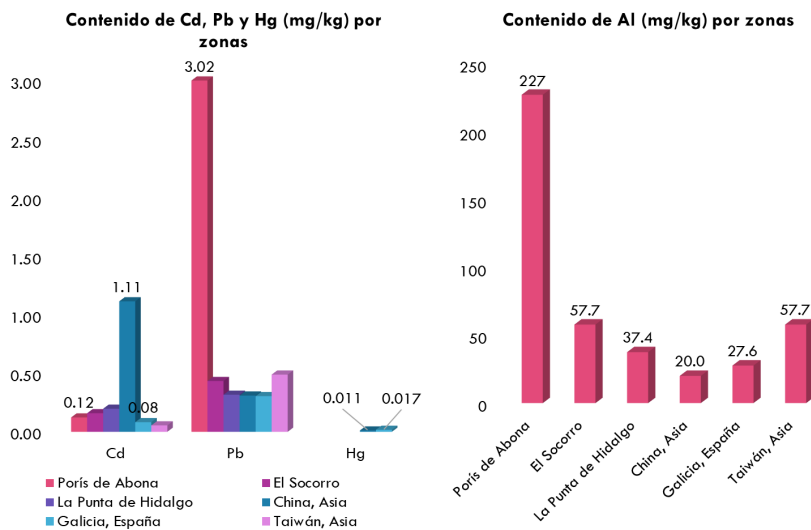


Figura 42. Comparación del contenido de metales tóxicos por zonas de origen de las algas analizadas

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

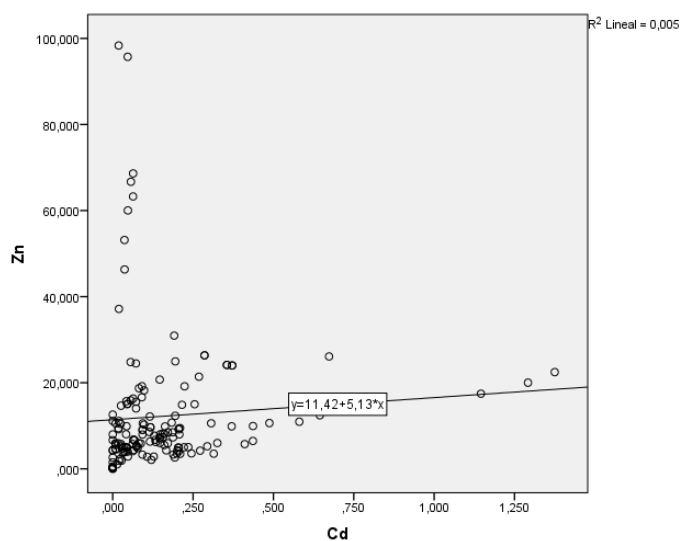
25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Los resultados obtenidos muestran la importancia de la zona de recolección de las algas, siendo un factor que afecta a la concentración metálica. Las diferentes características de las zonas estudiadas, en especial, las corrientes marinas que varían de una zona a otra influyen en los elementos y metales tóxicos que puede haber presentes en el agua. Además, otros factores que influyen son las actividades antropogénicas, como en el caso de La Punta del Hidalgo o el Porís de Abona, de alta actividad turística, pueden ser un importante factor en las diferencias de concentraciones encontradas.

**4.5. Correlaciones intermetálicas Cd/Zn**

Se han estudiado las correlaciones intermetálicas entre el Cd y el Zn en todas las muestras de algas analizadas. El Cd tiene la capacidad de competir con el Zn en el organismo debido a que ambos elementos son divalentes. En la Figura 43 se encuentra el gráfico de correlación entre ambos metales.



**Figura 43.** Correlación entre el Cd y el Zn

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

Tabla 13. Datos del estudio de correlación entre Cd y Zn

Correlaciones		Cd	Zn	
Rho de Spearman	Cd	Coefficiente de correlación	1,000	0,309**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	158	158
	Zn	Coefficiente de correlación	0,309**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	158	158
**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

El coeficiente de correlación entre el Cd y el Zn muestra una correlación positiva, aunque baja. Esta correlación positiva tan baja puede indicar una disminución de la concentración de Zn al aumentar la concentración de Cd.

#### 4.6. Concentración de yodo en las muestras de algas comerciales y salvajes analizadas

La Tabla 14 muestra las concentraciones medias (mg/kg peso seco) de yodo y desviaciones estándar en las muestras de algas comerciales y salvajes analizadas.

Tabla 14. Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) y desviaciones estándar (DE) de yodo en las algas analizadas

Especie	Tipo	Origen	Concentración
<b>Wakame</b> ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	Comercial	Europa	24,8 ± 13,0
		Asia	8,77 ± 7,64
<b>Kombu</b> ( <i>Laminaria ochroleuca</i> )		Europa	49,2 ± 16,9
<b>Hijiki</b> ( <i>Sargassum fusiforme</i> )		Asia	23,8 ± 3,3
<b>Espagueti de mar</b> ( <i>Himanthalia elongata</i> )		Europa	29,4 ± 1,5
<b>Nori</b> ( <i>Porphyra spp.</i> )		Asia	6,8 ± 2,0
		Asia	14,3 ± 1,8
<b>Musgo de Irlanda</b> ( <i>Chondrus crispus</i> )			6,55 ± 1,3
<b>Dulse</b> ( <i>Palmaria palmata</i> )		Europa	50,5 ± 5,5
<b>Lechuga de mar</b> ( <i>Ulva lactuca</i> )			3,96 ± 0,7
<b><i>Dasycladus vermicularis</i></b>	Salvaje	Tenerife	53,7 ± 49,9
<b><i>Haliptilum virgatum</i></b>			90,8 ± 26,9

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

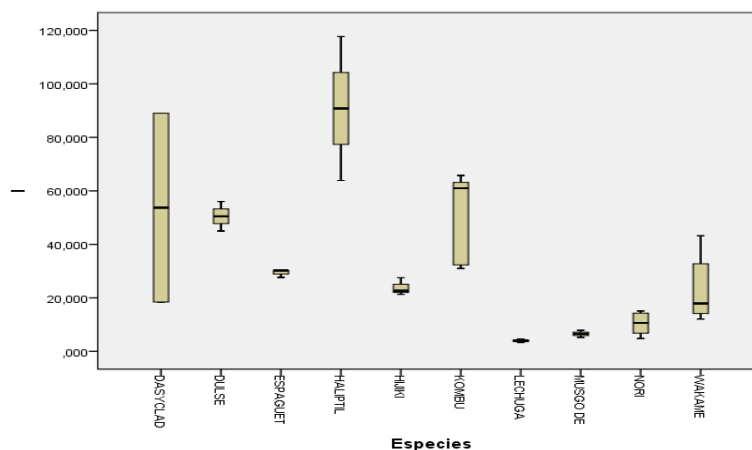


*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En cuanto a las algas salvajes, se tiene que las de la especie *Haliptilon virgatum* recogidas en el Porís de Abona, es el alga que **mayor concentración media de yodo (90,8 mg/kg p.s.)** presenta. No han sido encontrados estudios previos de contenido en yodo en esta especie.

Las algas **dulse y kombu procedentes de Europa** han sido las que presentan el **mayor contenido en yodo de 50,5 mg/kg p.s. y 49,2 mg/kg p.s.**, respectivamente. En un estudio llevado a cabo por Yeh et al. (2014), se registraron concentraciones de algas nori (36,9 mg/kg p.s.), wakame (139,7 mg/kg p.s.) y kombu (2523,3 mg/kg p.s.) muy superiores a las encontradas en este estudio. No obstante, es necesario destacar que las algas analizadas por estos autores procedían todas de Asia.

El análisis estadístico ha revelado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de yodo entre las algas de la especie *Ulva lactuca* o lechuga de mar, *Chondrus crispus* o musgo de Irlanda, *Porphyra spp* o nori y *Undaria pinnatifida* o wakame con las algas de la especie *Haliptilum virgatum* (Fig. 44).



**Figura 44.** Comparación del contenido de yodo en las diferentes especies de algas analizadas

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

De acuerdo a los límites de yodo establecidos en la legislación francesa, cuyo valor máximo es de < 5 mg/kg p.s. (Burtin, 2003), todas las algas analizadas superan ampliamente dicho valor, siendo no aptas para consumo según el Gobierno de Francia. Sin embargo, debido a que en España no se establece valor límite de yodo, estas algas son aptas para el consumo siendo comercializadas.

#### 4.7. Evaluación de la ingesta dietética

La evaluación de la ingesta dietética ha sido llevada a cabo considerando un consumo medio diario de 5 gramos de alga deshidratada al día (Rubio et al., 2017a; Paz et al., 2018b). Asimismo, se ha considerado un peso medio de un adulto de 68,48 kilos (AECOSAN, 2006b).

La Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética (FESNAD) ha fijado valores recomendados de ingesta diaria para los diferentes elementos esenciales (Tabla 15).

**Tabla 15.** Valores de ingesta diaria recomendada

Metal	Valor recomendado (IDR)	Referencia
<b>Ca</b>	900 – 1000 mg/día	FESNAD, 2010
<b>Cr</b>	25 mg/día (mujeres), 35 mg/día (hombres)	
<b>Cu</b>	1.1 mg/día	
<b>Fe</b>	18 mg/día (mujeres), 9 mg/día (hombres)	
<b>I</b>	140 µg/día (hombres), 110 µg/día (mujeres)	
<b>K</b>	3100 mg/día	
<b>Mg</b>	300 mg/día (mujeres), 350 mg/día (hombres)	
<b>Mn</b>	1,8 mg/día (mujeres), 2,3 mg/día (hombres)	
<b>Mo</b>	45 mg/día	
<b>Na</b>	1500 mg/día	
<b>Zn</b>	7 mg/día (mujeres), 9,5 mg/día (hombres)	

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

En cuanto a las ingestas permisibles de los metales tóxicos, instituciones como la European Food Safety Authority (EFSA), la Scientific Committee of Food (SCF), la World Health Organization (WHO), el Institute of Medicine (IOM), el Scientific Committee on Health and Environmental Risk (SCHER) o la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) han establecido valores de ingesta diaria o semanal tolerable para diferentes metales tóxicos y potencialmente tóxicos (Tabla 16).

**Tabla 16.** Valores de ingesta máxima de los metales tóxicos y potencialmente tóxicos

Metal	Parámetro	Valor	Referencia
Al	TWI	1 mg/kg pc/semana	EFSA, 2011a
Cd		2,5 µg/kg pc/semana	EFSA, 2011b
Hg		4 µg/kg pc/semana	EFSA, 2012
Pb	TDI	0,5 µg/kg pc/día	AECOSAN, 2012
Cr		0,3 mg Cr <sup>3+</sup> /kg pc/día	EFSA, 2014b
Ni		2,8 µg/kg pc/día	EFSA, 2015e
Sr		0,13 mg/kg pc/día	WHO, 2010
Ba		0,2 mg/kg bw/día	SCHER, 2012
Mo		0,1 – 0,5 mg/día	SCF, 2000
V	UL	1,8 mg/día	IOM, 2001
B		1,7 – 2,0 mg/día	
Zn		40 mg/día	
I		1100 µg/día	

*Tolerable weekly intake (TWI), tolerable daily intake (TDI), upper level intake (UL), peso corporal (pc)*

Estos valores de ingesta recomendada y de ingesta máxima han sido usados para la evaluación de la ingesta dietética.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4.7.1. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas comerciales

La Tabla 17 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a los valores máximos y recomendados de cada uno de los metales analizados.

En cuanto a los macroelementos, se tiene que los mayores porcentajes de contribución se corresponden al consumo de las **algas wakame procedentes de Asia**, que contribuirían mayoritariamente a la ingesta diaria recomendada de **Na (9,40% adultos), Mg (7,77% mujeres y 6,66% hombres)**. Mientras que, el consumo de **algas espagueti de mar procedentes de Europa** contribuye mayoritariamente a la ingesta de **K (9,26% adultos)**.

El consumo de **algas wakame asiáticas** contribuye mayoritariamente a la ingesta dietética de **Fe (3,22% hombres y 1,61% mujeres)**. Mientras que, el consumo de **algas espagueti de mar** contribuye notoriamente a la ingesta diaria recomendada de **Mn (3,04% hombres y 3,89% mujeres)**.

Las **algas wakame asiáticas** contribuyen significativamente a la ingesta semanal tolerable (TWI, tolerable weekly intake) de **Cd con un porcentaje de contribución del 24,5%**. Este porcentaje de contribución a la ingesta máxima de Cd podría suponer un riesgo para la salud en casos de consumo prolongado y monótono de este tipo de productos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

**Tabla 17.** Valores de ingesta diaria estimada (IDEs) y porcentajes de contribución de los metales analizados considerando los valores de ingesta recomendada y máxima

Metal	Wakame ( <i>Undaria pinnatifida</i> )						Espagueti de mar ( <i>Himantalia elongata</i> )						Kombu ( <i>Laminaria ochroleuca</i> )						Ensalada de algas																						
	Europa			Asia			Europa			Asia			Europa			Asia			Europa			Asia																			
	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)																			
Ca	16.6	1.84	19.6	2.18	17.3	1.92	14.6	1.62	14.6	1.62	11.1	1.23	6.64	0.74	98.9	6.59	141	9.40	125	8.33	5.01	91.4	6.09	86.0	5.73	169	5.45	43.2	1.39	9.26	6.19	2.03	26.3	0.85							
Na	13.8	3.94 (hombre) -4.60 (mujer)	23.3	6.66 (hombre) -7.77 (mujer)	17.7	5.10 (hombre) 5.90 (mujer)	8.27	2.36 (hombre) -2.80 (mujer)	8.27	2.36 (hombre) -2.80 (mujer)	5.56	1.60 (hombre) -1.85 (mujer)	2.63	0.75 (hombre) -0.88 (mujer)	0.0006	-	0.0004	-	0.0008	-	0.0004	-	0.0004	-	0.0001	-	0.001	<0.01	0.003	<0.01	0.003	<0.01	0.001	<0.01	0.001	<0.01					
Cr	0.009	0.82	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.01	0.009	0.82	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.01	0.009	0.82	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01	0.91	0.01				
Cu	0.11	1.22 (hombre) -0.61 (mujer)	0.29	3.22 (hombre) -1.61 (mujer)	0.09	1.00 (hombre) 0.50 (mujer)	0.14	1.56 (hombre) -0.78 (mujer)	0.14	1.56 (hombre) -0.78 (mujer)	0.14	1.56 (hombre) -0.78 (mujer)	0.11	1.22 (hombre) -0.61 (mujer)	0.014	0.61 (hombre) -0.77 (mujer)	0.03	1.30 (hombre) -1.67 (mujer)	0.07	3.04 (hombre) 3.89 (mujer)	0.04	1.74 (hombre) -2.22 (mujer)	0.05	2.17 (hombre) -2.78 (mujer)	0.02	0.87 (hombre) -1.11 (mujer)	0.0006	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01					
Fe	0.014	0.61 (hombre) -0.77 (mujer)	0.03	1.30 (hombre) -1.67 (mujer)	0.07	3.04 (hombre) 3.89 (mujer)	0.04	1.74 (hombre) -2.22 (mujer)	0.04	1.74 (hombre) -2.22 (mujer)	0.05	2.17 (hombre) -2.78 (mujer)	0.02	0.87 (hombre) -1.11 (mujer)	0.0006	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01	0.0003	<0.01					
Mn	0.0006	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0004	<0.01	0.0003	<0.01	0.20	2.11 (hombre) -2.86 (mujer)	0.09	0.90 (hombre) -1.29 (mujer)	0.11	1.16 (hombre) 1.57 (mujer)	0.05	0.53 (hombre) -0.71 (mujer)	0.10	1.05 (hombre) -1.43 (mujer)	0.05	0.53 (hombre) -0.71 (mujer)	0.35	20.6	0.13	7.65	0.16	9.41	0.19	11.2	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Mo	0.02	2.11 (hombre) -2.86 (mujer)	0.09	0.90 (hombre) -1.29 (mujer)	0.11	1.16 (hombre) 1.57 (mujer)	0.05	0.53 (hombre) -0.71 (mujer)	0.10	1.05 (hombre) -1.43 (mujer)	0.05	0.53 (hombre) -0.71 (mujer)	0.10	1.05 (hombre) -1.43 (mujer)	0.02	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.04	0.001	0.16	0.009	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005		
Zn	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.001	0.16	0.009	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005		
B	0.005	0.03	-	-	0.009	0.50	0.003	0.17	0.003	0.17	0.003	0.17	0.003	0.17	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006		
Ba	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006		
Li	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006		
Ni	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006		
V	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006			
Al	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006			
AI	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006			
Cd	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006				
Pb	0.002	1.04	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.008	4.67	0.002	1.04	0.002	1.04	0.002	1.02	0.10	1.02	0.10	1.02	0.17	1.74	0.08	0.82	0.29	0.0005	0.0002	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006				
Hg	0.00006	0.15	0.00006	0.15	0.00008	0.20	0.0001	0.28	0.00008	0.20	0.0001	0.28	0.00008	0.20	0.00006	0.15	0.00006	0.15	0.00008	0.20	0.0001	0.28	0.00008	0.20	0.00006	0.15	0.00006	0.15	0.00006	0.15	0.00008	0.20	0.0001	0.28	0.00008	0.20	0.0001	0.28			

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4.7.2. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas salvajes

A continuación, se ha evaluado la ingesta dietética de elementos esenciales y no esenciales procedente del consumo de las algas salvajes analizadas.

4.7.2.1. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas pardas

La Tabla 18 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a las ingestas máximas y recomendadas de cada uno de los metales analizados en las algas pardas salvajes.

El consumo de las **algas de la especie *Padina pavonica*** contribuye considerablemente a la ingesta recomendada de macroelementos como el **Ca (42,4 % adultos), Na (26,3% adultos) y Mg (17,5% para los hombres y del 20,5% para las mujeres)**. Mientras que, la mayor contribución a la IDR de **K (14,4% adultos)** se encuentra en las algas de la **especie *Sargassum fluitans***.

El porcentaje de contribución a la IDR de Na (26,3% adultos) procedente del consumo de algas de la especie *Padina pavonica* es elevado y, teniendo en cuenta que el Na es un elemento que se encuentra en el agua y el resto de los alimentos, la ingesta global podría superar el 100% de la IDR y, por lo tanto, suponer un riesgo de padecer hipertensión.

En cuanto a los elementos traza esenciales, el consumo de las **algas *Sargassum fluitans*** contribuye ampliamente a la IDR de **Mn (91,7% para los hombres y del 117% para las mujeres)** con porcentajes de contribución cercanos al 100% y, en el caso de las mujeres, se ha obtenido un porcentaje de contribución superior a la IDR. Asimismo, es destacable el porcentaje de contribución a la ingesta diaria recomendada de **Fe** procedente del consumo de las **algas de la especie *Padina pavonica***, con unos porcentajes de contribución del **66,1% para los hombres y del 33,1% para las mujeres**.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

La **ingesta de B** procedente de las algas *Sargassum fluitans* y *Haliptilum virgatum* supone unos porcentajes de contribución a la ingesta máxima del **39,4%** para los adultos. Aunque se encuentran por debajo del valor máximo de ingesta para este metal, un mayor consumo o el aporte total procedente de la dieta podría conllevar una ingesta mayor y por lo tanto, verse superado este valor máximo.

El **consumo de *Padina pavonica*** supone una **elevada ingesta de Pb** que contribuye en un **58,4% del valor de ingesta diaria tolerable** (TDI, tolerable daily intake) establecido para este metal tóxico. Este porcentaje de contribución es muy elevado, pudiendo suponer un riesgo para la salud de los consumidores. Además, el consumo de esta especie supone el **mayor porcentaje de contribución** a las ingestas semanales tolerables (TWI, tolerable weekly intake) de **Al (13,1% adultos) y de Cd (4,10% adultos)**.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

**Tabla 18.** Valores de ingesta diaria estimada (IDEs) y porcentajes de contribución de los metales analizados considerando los valores de ingesta recomendada y máxima

Metal	Cystoseira spp.						Sargassum fluitans			Halopteris scoparia			Halitiplum virgatatum			Padina pavonica		
	La Punta del Hidalgo			Porís de Abona			El Secorro			IDE (mg/día)			Porís de Abona			IDE (mg/día)		
	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)
Ca	15,9	1,77	141	15,7	27,4	3,04	105	11,7	131	14,6	382	42,4						
Na	204	13,6	155	10,3	189	12,6	113	7,53	170	11,3	395	26,3						
K	396	12,8	71,4	2,30	444	14,3	98,1	3,16	143	4,61	208	6,71						
Mg	9,96	2,85 (hombre) -3,32 (mujer)	25,2	7,20 (hombre) -8,40 (mujer)	20,6	5,89 (hombre) -6,87 (mujer)	16,4	4,69 (hombre) -5,47 (mujer)	46,8	13,4 (hombre) -15,6 (mujer)	61,2	17,5 (hombre) -20,4 (mujer)						
Co	0,002	-	0,002	-	0,001	-	0,0006	-	0,0006	-	0,003	-						
Cr	0,002	0,006 (hombre) -0,008 (mujer)	0,005	0,01 (hombre) -0,02 (mujer)	0,001	0,003 (hombre) -0,004 (mujer)	0,005	0,01 (hombre) -0,02 (mujer)	0,001	0,003 (hombre) -0,004 (mujer)	0,01	0,03 (hombre) -0,04 (mujer)						
Cu	0,02	1,82	0,03	2,73	0,02	1,82	0,02	1,82	0,02	1,82	0,06	5,45						
Fe	0,23	2,56 (hombre) -1,28 (mujer)	1,96	21,8 (hombre) -10,9 (mujer)	0,30	3,33 (hombre) -1,67 (mujer)	0,93	10,3 (hombre) -5,17 (mujer)	0,21	2,33 (hombre) -1,17 (mujer)	5,95	66,1 (hombre) -33,1 (mujer)						
Mn	0,01	0,43 (hombre) -0,56 (mujer)	0,09	3,91 (hombre) -2,17 (mujer)	2,11	91,7 (hombre) -117 (mujer)	0,03	1,30 (hombre) -1,67 (mujer)	0,008	0,35 (hombre) -0,44 (mujer)	0,26	11,3 (hombre) -14,4 (mujer)						
Mo	0,0008	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,0005	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004						
Zn	0,02	0,21 (hombre) -0,29 (mujer)	0,03	0,32 (hombre) -0,43 (mujer)	0,02	0,21 (hombre) -0,29 (mujer)	0,02	0,21 (hombre) -0,29 (mujer)	0,02	0,21 (hombre) -0,29 (mujer)	0,06	0,63 (hombre) -0,86 (mujer)						
B	0,45	26,5	0,51	30,0	0,67	39,4	0,17	10,0	0,67	39,4	0,40	23,5						
Ba	0,04	0,29	0,03	0,22	0,03	0,22	0,04	0,29	0,03	0,22	0,12	0,88						
Li	0,01	-	0,01	-	0,02	-	0,006	-	0,01	-	0,02	-						
Ni	0,006	3,13	0,01	5,22	0,005	2,61	0,005	2,61	0,007	3,65	0,02	10,4						
V	-	-	0,01	0,56	0,002	0,11	0,01	0,56	0,02	1,18	0,03	1,67						
Al	0,20	2,04	1,26	12,9	0,29	2,96	0,66	6,75	0,18	1,84	1,28	13,1						
Cd	0,001	4,10	0,0007	7,16	0,0008	3,27	0,0004	1,64	0,001	4,10	0,001	4,10						
Pb	0,002	5,84	0,01	29,2	0,002	5,84	0,01	29,2	0,002	5,84	0,02	58,4						

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

*4.7.2.2. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas rojas*

La Tabla 19 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a las ingestas máximas y recomendadas de cada uno de los metales analizados en las algas rojas salvajes.

El consumo de las **algas de la especie *Liagora spp*** contribuye mayoritariamente a la ingesta diaria recomendada de **Ca (16,3% adultos)** mientras que, el consumo de la especie ***Asparagopsis spp*** contribuye notablemente a las IDRs de **Na (13,3% adultos) y Mg (8,00% para los hombres y 9,33% para las mujeres).**

Las **algas de la especie *Liagora spp*** contribuyen significativamente a la ingesta diaria recomendada de **Fe (66,1% para hombres y del 33,1% para las mujeres).** Por otro lado, el consumo de **las algas *Asparagopsis spp*** contribuye considerablemente a la ingesta recomendada de **Mn (4,78% para los hombres y del 6,11% para las mujeres).**

En cuanto a la ingesta de metales tóxicos, el consumo de las **algas *Liagora spp*** contribuye notablemente a la ingesta de **Pb con un porcentaje de contribución a la TDI del 58,4%.** Este porcentaje de contribución puede verse superado en casos de un mayor consumo de estas algas con el consiguiente riesgo tóxico. Por otro lado, son **las algas *Asparagopsis spp*** las que contribuyen mayoritariamente a la **TWI de Al (14,7% adultos).**

**Tabla 19.** Valores de ingesta diaria estimada (IDEs) y porcentajes de contribución de los metales analizados considerando los valores de ingesta recomendada y máxima

Metal	<i>Asparagopsis spp.</i>		<i>Liagora spp.</i>	
	Porís de Abona			
	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)
Ca	91,7	10,2	147	16,3
Na	200	13,3	150	10,0
K	108	3,48	90,7	2,93
Mg	28,0	8,00 (hombre) – 9,33 (mujer)	17,1	4,89 (hombre) – 5,70 (mujer)
Co	0,002	-	0,0009	-

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

<b>Cr</b>	0,006	0,02 (hombre) – 0,02 (mujer)	0,004	0,01 (hombre) – 0,02 (mujer)
<b>Cu</b>	0,02	1,82	0,03	2,73
<b>Fe</b>	1,60	17,8 (hombre) – 8,89 (mujer)	5,95	66,1 (hombre) – 33,1 (mujer)
<b>Mn</b>	0,11	4,78 (hombre) – 6,11 (mujer)	0,07	3,04 (hombre) – 3,89 (mujer)
<b>Mo</b>	0,001	0,002	0,001	0,002
<b>Zn</b>	0,04	0,42 (hombre) – 0,57 (mujer)	0,02	0,21 (hombre) – 0,29 (mujer)
<b>B</b>	0,40	23,5	0,40	23,5
<b>Ba</b>	0,04	0,29	0,12	0,88
<b>Li</b>	0,006	-	0,02	-
<b>Ni</b>	0,008	4,17	0,02	10,4
<b>V</b>	0,015	0,83	0,03	1,67
<b>Al</b>	1,44	14,7	1,28	13,1
<b>Cd</b>	0,0004	1,64	0,001	4,10
<b>Pb</b>	0,02	29,2	0,02	58,4

*4.7.2.3. Ingesta dietética de metales procedente del consumo de las algas verdes*

La Tabla 20 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a las ingestas máximas y recomendadas de cada uno de los metales analizados en las algas verdes salvajes.

El consumo de **algas de la especie *Ulva spp*** contribuye mayoritariamente a la ingesta diaria recomendada de **Ca (13,3% adultos)**. Por otro lado, el consumo de **las algas *Enteromorpha spp*** contribuye con un **14,1% de la ingesta diaria recomendada de Na**, así como a la IDR de **Mg (17,3% para los hombres y del 20,2% para las mujeres)**.

En cuanto a los elementos traza, el consumo de las **algas *Dasycladus vermicularis*** contribuye notablemente a las **IDRs de Fe (13,9% para los hombres y del 6,95% para las mujeres)** y de **Mn (3,48% para los hombres y del 4,44% para las mujeres)**.

El consumo de las **algas de la especie *Dasycladus vermicularis*** y de la especie ***Ulva spp*** suponen un porcentaje de contribución a la ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) de **Pb del 20,4%**. Aunque este porcentaje de contribución es menor

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

al 100% de la TDI, un mayor consumo podría superar la ingesta máxima de Pb conllevando riesgos para la salud de los consumidores.

**Tabla 20.** Valores de ingesta diaria estimada (IDEs) y porcentajes de contribución de los metales analizados considerando los valores de ingesta recomendada y máxima

Metal	<i>Dasycladus vermicularis</i>		<i>Ulva spp.</i>		<i>Enteromorpha spp.</i>	
	Porís de Abona		El Socorro		El Socorro	
	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)
Ca	54,9	6,10	120	13,3	18,1	2,01
Na	130	8,67	71,2	4,75	212	14,1
K	109	3,52	93,4	3,01	129	4,16
Mg	32,3	9,23 (hombre) – 10,8 (mujer)	13,9	3,97 (hombre) – 4,64 (mujer)	60,5	17,3 (hombre) – 20,2 (mujer)
Co	0,001	-	0,0003	-	0,0001	-
Cr	0,004	0,01 (hombre) – 0,02 (mujer)	0,004	0,01 (hombre) – 0,02 (mujer)	0,0003	0,0009 (hombre) – 0,001 (mujer)
Cu	0,02	1,67	0,02	1,67	0,005	0,45
Fe	1,25	13,9 (hombre) – 6,95 (mujer)	0,71	7,89 (hombre) – 3,94 (mujer)	0,09	1,00 (hombre) – 0,50 (mujer)
Mn	0,08	3,48 (hombre) – 4,44 (mujer)	0,001	0,04 (hombre) – 0,06 (mujer)	0,004	0,17 (hombre) – 0,22 (mujer)
Mo	0,0005	0,001	0,0003	0,0007	0,0006	0,001
Zn	0,03	0,32 (hombre) – 0,43 (mujer)	0,01	0,11 (hombre) – 0,14 (mujer)	0,002	0,02 (hombre) – 0,03 (mujer)
B	0,18	10,6	0,03	1,76	0,67	39,4
Ba	0,02	0,15	0,05	0,37	0,004	0,03
Li	0,007	-	0,004	-	0,01	-
Ni	0,009	4,69	0,002	1,04	0,002	1,04
V	0,009	0,50	0,02	1,11	0,001	0,06
Al	0,75	7,67	0,38	3,89	0,09	0,92
Cd	0,0004	1,64	0,0002	2,04	0,0001	0,41
Pb	0,007	20,4	0,007	20,4	0,0008	2,34

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

4.7.3. Comparación de la ingesta dietética de metales entre las algas comerciales y las algas salvajes analizadas

La Tabla 21 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a las ingestas máximas y recomendadas de cada uno de los metales analizados en las algas comerciales y las algas salvajes.

El **consumo de algas salvajes** procedentes de Tenerife contribuye mayoritariamente a la ingesta de **macroelementos esenciales** como el **Ca (12,9% adultos)**, **Na (12,7% adultos)** y **Mg (8,11% para los hombres y del 9,47% para las mujeres)**.

En cuanto a la ingesta de **elementos traza esenciales**, el consumo de las algas salvajes contribuiría significativamente a la **ingesta diaria recomendada de Fe**, con unos porcentajes de contribución del **23% para los hombres y del 11,3% para las mujeres**.

Por otro lado, las **algas salvajes** son las que ofrecen mayores porcentajes de contribución a la ingesta máxima (UL, upper level intake) de **B (26,6% adultos)**, aunque esta contribución no supera la UL de B, ésta podría verse superada considerando la ingesta total de alimentos o en casos de mayor consumo de este tipo de algas con el consiguiente riesgo para la salud.

Asimismo, el consumo de las **algas salvajes** analizadas contribuye notablemente a la **ingesta diaria tolerable (TDI) de Pb (29,2 % adultos)**. Aunque este porcentaje de contribución no supone un riesgo para la salud, la ingesta total de Pb derivada de la dieta podría superar el 100% de la TDI de Pb.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

**Tabla 21.** Valores de ingesta diaria estimada (IDEs) y porcentajes de contribución de los metales analizados considerando los valores de ingesta recomendada y máxima

Metal	Algas comerciales		Algas salvajes	
	IDE (mg/día)	Contribución (%)	IDE (mg/día)	Contribución (%)
Ca	14,9	1,66	116	12,9
Na	99,1	6,61	191	12,7
K	171	5,52	169	5,45
Mg	11,9	3,40 (hombre) – 3,97 (mujer)	28,4	8,11 (hombre) – 9,47 (mujer)
Co	0,001	-	0,002	-
Cr	0,001	0,003 (hombre) – 0,004 (mujer)	0,004	0,01 (hombre) – 0,02 (mujer)
Cu	0,02	1,82	0,03	2,72
Fe	0,13	1,44 (hombre) – 0,72 (mujer)	2,03	22,6 (hombre) – 11,3 (mujer)
Mn	0,04	1,74 (hombre) – 2,22 (mujer)	0,27	11,7 (hombre) – 15,0 (mujer)
Mo	0,0004	0,0009	0,001	0,002
Zn	0,11	1,16 (hombre) – 1,57 (mujer)	0,03	0,32 (hombre) – 0,43 (mujer)
B	0,19	11,2	0,45	26,5
Ba	0,02	0,15	0,04	0,29
Li	0,006	-	0,02	-
Ni	0,003	1,56	0,009	4,59
V	0,003	0,17	0,02	1,11
Al	0,15	1,53	0,93	9,51
Cd	0,0007	2,86	0,0008	3,27
Pb	0,002	5,84	0,01	29,2
Hg	< 0,0001	-	-	-

4.7.4. Ingesta dietética de yodo procedente del consumo de las algas analizadas

La Tabla 22 recoge las ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a la ingesta diaria recomendada (IDR) e ingesta diaria admisible (IDA) de yodo procedente del consumo de las algas analizadas. En general, se tiene que el consumo de las algas analizadas contribuye considerablemente a la **ingesta dietética de yodo**.

En las algas comerciales se han encontrado porcentajes de contribución superiores a la IDR de este elemento, encontrándose la mayor contribución en las **algas dulce** y las **algas kombu** con unos porcentajes del **179% para hombres y del 227% para mujeres**.

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

Sin embargo, aunque en ciertos casos se supera ampliamente la IDR de yodo, no se ve superada la ingesta diaria admisible (IDA) de este elemento fijada en 1100 µg/día (IOM, 2001) no suponiendo un riesgo para la salud de los adultos.

**Tabla 22.** Ingestas diarias estimadas (IDEs) y porcentajes de contribución a la ingesta diaria recomendada (IDR) y a la ingesta diaria admisible (IDA) de yodo

Especie	Origen	Concentración (mg/kg)	IDE (mg/día)	Contribución (%) a la IDR	Contribución (%) a la IDA
<b>Wakame</b> ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	Europa	24,8	0,12	85,7 (hombre) – 109 (mujer)	10,9
	Asia	8,77	0,04	28,6 (hombre) – 36,4 (mujer)	3,64
<b>Kombu</b> ( <i>Laminaria ochroleuca</i> )	Europa	49,2	0,25	179 (hombre) – 227 (mujer)	22,7
<b>Hijiki</b> ( <i>Sargassum fusiforme</i> )	Asia	23,8	0,12	85,7 (hombre) – 109 (mujer)	10,9
<b>Espaguete de mar</b> ( <i>Himanthalia elongata</i> )	Europa	29,4	0,15	107 (hombre) – 136 (mujer)	13,6
<b>Nori</b> ( <i>Porphyra spp.</i> )		6,8	0,03	21,4 (hombre) – 27,3 (mujer)	2,73
	Asia	14,3	0,07	50 (hombre) – 63,6 (mujer)	6,36
<b>Musgo de Irlanda</b> ( <i>Chondrus crispus</i> )		6,55	0,03	21,4 (hombre) – 27,3 (mujer)	2,73
<b>Dulse</b> ( <i>Palmaria palmata</i> )	Europa	50,5	0,25	179 (hombre) – 227 (mujer)	22,7
<b>Lechuga de mar</b> ( <i>Ulva lactuca</i> )		3,96	0,02	14,3 (hombre) – 18,2 (mujer)	1,82
<b><i>Dasycladus vermicularis</i></b>	Tenerife	53,7	0,27	193 (hombre) – 245 (mujer)	24,5
<b><i>Haliptilum virgatum</i></b>		90,8	0,45	321 (hombre) – 409 (mujer)	40,9

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

# Conclusiones



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## 5. CONCLUSIONES

- I. Se ha determinado el contenido de macroelementos (Na, K, Ca, Mg), elementos traza esenciales (Fe, Cu, Cr, Co, Zn, Mn, Mo, I), elementos traza no esenciales (Ni, Sr, V, Ba, Li) y metales tóxicos (Al, Cd, Pb, Hg) en 387 muestras de algas de diferentes especies y orígenes geográficos.
- II. Las algas salvajes potencialmente comestibles recolectadas en la isla de Tenerife (Islas Canarias, España) presentan mayores concentraciones de macroelementos, elementos traza y metales tóxicos que las algas comerciales procedentes de otras zonas geográficas como China, Taiwán o Galicia (España).
- III. El estudio estadístico ha confirmado la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de todos los elementos analizados, a excepción del Cd, Co, K y Cu, entre las algas comerciales y las algas salvajes analizadas.
- IV. En el estudio por zonas, se observa que las algas recolectadas en el Porís de Abona (Tenerife, España) son las que registran los mayores niveles de metales tóxicos. Este mayor contenido de metales tóxicos puede deberse a las actividades antropogénicas y a la presencia de emisarios sin control en esta zona.
- V. En cuanto a las diferentes especies de algas, las algas pardas de la especie *Padina pavonica*, son las que presentan las mayores concentraciones de todos los elementos analizados, a excepción del K, Al, B, Mn, Li y V.
- VI. El consumo de 5 gramos al día de algas deshidratadas supone un aporte destacable de macroelementos y elementos traza esenciales, tanto en las algas comerciales como en las salvajes.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica

- VII. La ingesta de Na derivada del consumo de 5 gramos/día de las algas deshidratadas analizadas supone un aporte significativo a la IDR de este macroelemento. Se han encontrado los mayores porcentajes de contribución en las algas salvajes de la especie *Padina pavonica* (26,3% adultos). Considerando la abundancia de Na tanto en los alimentos como en agua y la elevada ingesta de este elemento por parte de la población canaria, el consumo de algas conjuntamente con el resto de la dieta podría superar el 100% de la IDR de Na pudiendo generar problemas de salud.
- VIII. La ingesta de yodo derivada del consumo de 5 gramos diarios de algas deshidratadas de las especies *Palmaria palmata*, *Laminaria ochroleuca*, *Dasycladus vermicularis* y *Haliptilum virgatum* supera ampliamente el 100% de la ingesta diaria recomendada (IDR) de yodo con unos porcentajes de contribución de este elemento del 179 – 409% de la IDR. Aunque la ingestión diaria estimada de yodo no supera el valor de ingesta máximo fijado (IDA, ingesta diaria admisible) para este elemento, un consumo prolongado y continuo de algas, típico de dietas veganas y vegetarianas podría conllevar un riesgo para la salud.
- IX. El porcentaje de contribución a la ingesta diaria tolerable (TDI, tolerable daily intake) de Pb derivado del consumo de las algas salvajes ha sido del 29,5%. Este porcentaje es significativo pudiendo, en casos de un mayor consumo, verse superada su TDI con el consiguiente riesgo para la salud.
- X. Las algas salvajes potencialmente comestibles recolectadas en la isla de Tenerife son aptas para su consumo, considerando las concentraciones de metales tóxicos encontradas y su porcentaje de contribución a los valores establecidos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- XI. Las ingestas diarias estimadas derivadas del consumo de 5 g/día de algas deshidratadas, se encuentran por debajo de los límites de ingesta máximo establecidos siendo, por lo tanto, seguras para su consumo. Sin embargo, es necesario considerar que una dieta monótona de este tipo de productos podría conllevar riesgos para la salud a largo plazo.
- XII. Teniendo en cuenta los límites máximos para los metales tóxicos y otros elementos fijados por el Gobierno de Francia para las algas comestibles hemos encontrado que, casi todas las algas comerciales analizadas superan el límite máximo de yodo establecido en menos de 5,0 mg/kg de peso seco. Asimismo, las muestras de algas wakame procedentes de Asia superan ampliamente el límite máximo de Cd establecido en menos de 0,5 mg/kg de peso seco por el Gobierno de Francia.
- XIII. No existe legislación en la Unión Europea sobre metales y no metales en algas comestibles, a excepción de la citada del Gobierno de Francia, que regula el contenido de yodo y de metales tóxicos Al, Cd, Pb y Hg en algas. Es por ello estrictamente necesario establecer límites máximos para el yodo y los metales tóxicos considerando el incremento de consumo que este tipo de productos ha tenido en los últimos años por parte de la población, así como la gran capacidad que presentan estos organismos para concentrar y acumular metales y otros contaminantes.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

# Referencias



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## 6. REFERENCIAS

1. Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R (2014) Review on iron and its importance for human health. *Journal of Research in Medicinal Sciences* 19(2): 164-174.
2. AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2006a) Dictamen del Comité Científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha relativa a la evaluación del riesgo en relación con el empleo del cloruro de litio como marcador en vinos con destino a la destilación. *Revista del Comité Científico* 4: 55-59.
3. AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2006b) Spanish model diet for the determination of consumer exposure to chemicals. Ministry of Health, Social Services and Equality. Madrid, Spain.
4. AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2012) Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) regarding criteria for the estimation of concentrations for the discussion proposals for migration limits of certain heavy metals and other elements from ceramic articles intended to come into contact with foodstuffs. *Journal of the Scientific Committee* 16: 11-20.
5. Akcali I, Kucuksezgin F (2011) A biomonitoring study: Heavy metals in macroalgae from eastern Aegean coastal areas. *Marine Pollution Bulletin* 62(3): 637-645.
6. Alli MB, Vajpayee P, Tripathi RD, et al. (2000) Mercury bioaccumulation Induce Oxidative Stress and Toxicity to Submerged Macrophytes *Potamogeton crispus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65:573-582.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

7. Alvares AP, Leigh S, Cohn J, Kappas A (1972) Lead and Methyl Mercury: Effects of Acute Exposure on Cytochrome P-450 and the Mixed Function Oxidase System in the Liver. *Journal of Experimental Medicine* 135(6): 1406.
8. Alvino de La Sota N, Pacheco Calderón J, Galli Rigo-Righi C (2007) Diseño de Agente Antidiabéticos de Vanadio: Desarrollo y Avances Recientes. *Revista de Química* 37-48.
9. Anderson DM, Glibert PM, Burkholder JM (2002) Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*. 25(4): 704-726.
10. Andersson M, de Benoist B, Rogers L (2010) Epidemiology of iodine deficiency: Salt iodisation and iodine status. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*. 24: 1-11.
11. AOAC (Association of the Official Analytical Chemists) (1990) Official methods of the analysis of the AOAC. (15th ed.). Association of the Official Analytical Chemists (pp 237-273). Washington, Estados Unidos.
12. Arístegui J, González-Ramos AJ, Benavides M (2017) Informe sobre la presencia de *Trichodesmium* spp. en aguas de Canarias, en el verano de 2017.
13. Arvand M, Kermanian M (2012) Potentiometric Determination of Aluminum in Foods, Pharmaceuticals, and Alloys by AIMCM-41-Modified Carbon Paste Electrode. *Food Analytical Methods* 6:578-586.
14. Astorga-España MS, Rodríguez Galdón B, Rodríguez Rodríguez EM, Díaz Romero C (2015) Mineral and trace element concentrations in seaweeds from the sub-Antartic ecoregion of Magallanes (Chile). *Journal of Food Composition and Analysis* 39:69-75.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

15. Atici T, Obali O, Altindag A, Ahiska S, Aydin D (2010) The accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and their state in phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Beysehir Lake and Mogan Lake, Turkey. African Journal of Biotechnology 9(4): 475-487.
16. Baran EJ (1997) La Nueva Farmacoterapia Inorgánica. XVII. Compuestos de Vanadio. Acata Farmacéutica Bonaerense 16(1): 43-51.
17. Barbier O, Jacquillet G, Tauc M, Cougnon M, Poujeol P (2005) Effect of Heavy Metals on, and Handling by, the Kidney. Nephron Physiology 99: 105-110.
18. Barrett KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL (2010) Ganong, Fisiología Médica. 23ra Edición, México, McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
19. Beretta-Piccoli C, Davies DL, Boddy K, Brown JJ, Cumming AMM, East BW, Fraser R, Lever AF, Padfield PL, Semple PF, Robertson JIS, Weidmann P, Williams ED (1982) Relation of Arterial Pressure with Body Sodium, Body Potassium and Plasma Potassium in Essential Hypertension. Clinical Science 63(3): 257-270.
20. Berlin M, Zalups RK, Fowler BA (2007) Mercury. En: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg M, Friberg L. Handbook on the Toxicology of Metals. 3ra Edición, Amsterdam, Academic Press. Pp. 675-729.
21. Blanco A (2006) Química Biológica. Octava edición. Editorial El Ateneo, Madrid.
22. Blumberg A, Roser HW, Zehnder C, Müller-Brand J (1997) Plasma potassium in patients with terminal renal failure during and after haemodialysis; relationship with dialytic potassium removal and total body potassium. Nephrology Dialysis Transplantation 12(8): 1629-1634.
23. Bohn T (2003) Magnesium absorption in humans. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Tesis Doctoral, Alemania.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

24. Bohn T, Davidsson L, Walczyk T, Hurrell RF (2004) Phytic acid added to white-wheat bread inhibits fractional apparent magnesium absorption in humans. The American Journal of Clinical Nutrition 79(3): 418-423.
25. Bouga M, Combet E (2015) Emergence of Seaweed-Containing Foods in the UK: Focus on Labeling, Iodine Content, Toxicity and Nutrition. Foods 4: 240-253.
26. Brannan PG, Vergne-Marini P, Pak CY, Hull AR, Fordtran JS (1976) Magnesium absorption in the human small intestine. Results in normal subjects, patients with chronic renal disease, and patients with absorptive hypercalciuria. The Journal of Clinical Investigation 57(6): 1412-1418.
27. Bronner F, Pansu D (1999) Nutritional Aspects of Calcium Absorption. The Journal of Nutrition 129(1): 9-12.
28. Burbacher TM, Rodier PM, Weiss B (1990) Methylmercury developmental neurotoxicity: A comparison of effects in humans and animals. Neurotoxicology and Teratology. 12(3): 191-202.
29. Bürgi H (2010) Iodine excess. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism. 24: 107-115.
30. Burtin A (2003) Nutritional value of seaweeds. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. 498-503.
31. Calvino Casilda V, Perozo Rondón E, Ferrera Escudero S, Ávila Rey M, López Peinado AJ, Aranda M (2005) Enseñanza de las Ciencias: El indiscutible descubridor del Vanadio, el español Andrés Manuel del Río. Revista 100cias@ UNED 8: 140-143.
32. Camacho-Cristóbal JJ, Rexach J, González-Fontes A (2008) Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. Journal of Integrative Plant Biology. 50(10). DOI: 10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

33. Campanella L, Conti ME, Cubadda F, Sucapane C (2001) Trace metals in seagrass, algae and molluscs from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental Pollution* 111: 117-126.
34. Carafoli E (1987) Intracellular Calcium Homeostasis. *Annual Review of Biochemistry* 56: 395-433.
35. Carpenter DO (2001) Effects of metals on the nervous system of humans and animals. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 14(3): 209-218.
36. Carro L, Herrero R, Barriada JL, Sastre de Vicente ME (2009) Mercury removal: a physicochemical study of metal interaction with natural materials. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 84: 1688-1696.
37. Casares Rivas MM, Izquierdo Vilchez R, Osorio López MJ, Albendín García L, Fernández Castillo R (2015) Diabetes: Vanadio como agente hipoglucemiante. *Parainfo Digital: Monográficos de Investigación en Salud* 22: 1-5.
38. Casas JS, Moreno V, Sánchez A, Sánchez JL, Sordo J (2002) Química bioinorgánica. Biblioteca de químicas. Editorial Síntesis. Madrid, España.
39. CE (Comisión Europea) (2006) Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea* L364/5.
40. Cefalu WT, Hu FB (2004) Role of Chromium in Human Health and in Diabetes. *Diabetes Care*. 27(11): 2741-2751.
41. Chance R, Baker AR, Küpper FC, Hughes C, Kloreg B, Malin G (2009) Release and transformations of inorganic iodine by marine macroalgae. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82: 406-414.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

42. Charlet L, Chapron Y, Faller P, Kirsch R, Stone AT, Baveye PC (2012) Neurodegenerative diseases and exposure to the environmental metals Mn, Pb, and Hg. *Coordination Chemistry Reviews* 256: 2147-2163.
43. Crespo E (2001) El boro, elemento nutricional esencial en la funcionalidad ósea. *Revista Española de Cirugía Osteoarticular* 36(206): 88-95.
44. Cuizano NA, Navarro AE (2008) Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de Química* 104: 120-125.
45. Dalton DA, Russell SA, Evans HJ (1988) Nickel as a micronutrient element for plants. *BioFactors* 1(1): 11-6.
46. Das KK, Das SN, Dhundasi SA (2008) Nickel, its adverse health effects & oxidative stress. *Indian Journal of Medical Research* 128: 412-425.
47. Davidson T, Ke Q, Costa M (2007) Chapter 5: Selected Molecular Mechanism of Metal Toxicity and Carcinogenicity. En: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg L (Eds.). *Handbook on the Toxicology of Metals*. 3ra Edición, Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
48. Davies NW, Standen NB, Stanfield PR (1991) ATP-dependent potassium channels of muscle cells: Their properties, regulation, and possible functions. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes* 23(4): 509-535.
49. Davis GK, Mertz W (1987) Copper. En: Mertz W (Eds). *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 5ta Edición, volumen 1, Academic Press Inc, Estados Unidos.
50. Davis SM, Drake KD, Maier KJ (2002) Toxicity of boron to the duckweed, *Spirodella polyrrhiza*. *Chemosphere* 48(6): 615-620.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

51. de Sousa EA, Luz CC, de Carvalho DP, Dorea CC, de Holanda IBB, Manzatto ÂG, Bastos WR (2016) Chromium distribution in an Amazonian river exposed to tannery effluent. *Environmental Science and Pollution Research* 23(21): 22019-22026.
52. Devirian TA, Volpe SL (2003) The Physiological Effects of Dietary Boron. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43(2): 219-231.
53. Díaz Pérez SF, Hardisson de la Torre A, Real Hardisson F (1988) La utilización del alga *C. abies-marina* como abono orgánico. *Cultivo y operaciones aplicadas a las algas. Horticultura: Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* 41: 25-29.
54. Domínguez Ortega L, Medina Ortiz O, Cabrera García-Armenter S (2006) Intoxicación con litio. *Anales de Medicina Interna* 23(9): 441-445.
55. dos Santos AA, Hort MA, Culbreth M, López-Granero C, Farina M, Rocha JBT, Aschner M (2016) Methylmercury and brain development: A review of recent literature. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 38: 99-107.
56. EFSA (European Food Safety Authority) (2004) Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Vanadium. *EFSA Journal* 33: 1-22.
57. EFSA (European Food Safety Authority) (2005) Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Sodium. *EFSA Journal* 209: 1-26.
58. EFSA (European Food Safety Authority) (2008) Safety of aluminium from dietary intake. *Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavours, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC)*. *EFSA Journal* 754:1-34.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

59. EFSA (European Food Safety Authority) (2009) Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to magnesium and electrolyte balance (ID 238), energy-yielding metabolism (ID 240, 247, 248), neurotransmission and muscle contraction including heart muscle (ID 241, 242), cell division (ID 365), maintenance of bone (ID 239), maintenance of teeth (ID 239), blood coagulation (ID 357) and protein synthesis (ID 364) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal 7(9): 1216.
60. EFSA (European Food Safety Authority) (2011a) Statement on the evaluation on a new study related to the bioavailability of aluminium in food. EFSA Journal 9(5): 2157.
61. EFSA (European Food Safety Authority) (2011b) Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Statement on tolerable weekly intake for cadmium. EFSA Journal 9(2): 1975.
62. EFSA (European Food Safety Authority) (2012) Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal 10(12):2985.
63. EFSA (European Food Safety Authority) (2013a) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for molybdenum. The EFSA Journal 11(8): 3333.
64. EFSA (European Food Safety Authority) (2013b) Technical Report: Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Supporting Publications EN-411.
65. EFSA (European Food Safety Authority) (2014a) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. EFSA Journal 12(10):3844.
66. EFSA (European Food Safety Authority) (2014b) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. EFSA Journal 12(10):3845.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

67. EFSA (European Food Safety Authority) (2014c). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iodine. EFSA Journal 12(5): 3660.
68. EFSA (European Food Safety Authority) (2015a) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. EFSA Journal 13(5):4101.
69. EFSA (European Food Safety Authority) (2015b) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for magnesium. EFSA Journal 13(7):4186.
70. EFSA (European Food Safety Authority) (2015c) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iron. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). EFSA Journal 13(10): 4254.
71. EFSA (European Food Safety Authority) (2015d) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). EFSA Journal 13(10): 4253.
72. EFSA (European Food Safety Authority) (2015e) Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. EFSA Journal 13(2): 4002-4204.
73. EFSA (European Food Safety Authority) (2016) Dietary reference values for potassium. EFSA Journal 14(10): 4592.
74. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2014) The State of World Fisheries and Aquaculture. Opportunities and challenges. FAO Publications, Roma.
75. Farré Rovira R (1983) Los oligoelementos en nutrición humana. Conferencia pronunciada en Expofarmacia, Valencia. Mayo 1983.
76. FESNAD (Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética) (2010) Ingestas Dietéticas de Referencia (IDR) para la población española. Acta Dietética 14(4): 196-197.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

77. Foo SC, Yusoff FMd, Ismail M, Basri M, Yau SK, Khong NMH, Chan KW, Ebrahim M (2017) Antioxidant capacities of fucoxanthin-producing algae as influenced by their carotenoid and phenolic contents. *Journal of Biotechnology* 241: 175-183.
78. Fowler BA (2009) Monitoring of human populations for early markers of cadmium toxicity: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238(3): 294-300.
79. Fuge R, Johnson CC (2015) Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry* 63: 282-302.
80. Fujimura M, Usuki F, Cheng J, Zhao W (2016) Prenatal low-dose methylmercury exposure impairs neurite outgrowth and synaptic protein expression and suppresses TrkA pathway activity and eEF1A1 expression in the rat cerebellum. *Toxicology and Applied Pharmacology* 298: 1-8.
81. Fung A, Hamid N, Lu J (2013) Fucoxanthin content and antioxidant properties of *Undaria pinnatifida*. *Food Chemistry* 136:1055-1062.
82. Godt J, Scheidig F, Grosse-Siestrup C, Esche V, Brandenburg P, Reich A, Groneberg DA (2006) The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 1: 22.
83. Golding LA, Angel BM, Batley GE, Apte SC, Krassoi R, Doyle CJ (2015) Derivation of a water quality guideline for aluminium in marine waters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 34(1): 141-151.
84. González Muñoz MJ, Meseguer Soler I, Mateos Vega CJ (2009) Elementos ultratrazas ¿Nutrientes o tóxicos?. *Revista de Toxicología* 26: 93-103.
85. Goyer RA (1997) Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition* 17: 37-50.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

86. Grandjean P (2017) Mercury. En: Heggenhougen K. International Encyclopedia of Public Health. 2da Edición, Amsterdam, Elsevier. Pp. 110-116.
87. Graudal N, Jürgens G, Baslund B, Alderman MH (2014) Compared with Usual Sodium Intake, Low- and Excessive-Sodium Diets Are Associated with Increased Mortality: A Meta-Analysis. American Journal of Hypertension 27(9): 1129-1137.
88. Gupta VK, Tuohy MG (2015) Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications. WILEY Blackwell, Reino Unido.
89. Gurzau ES, Neagu C, Gurzau AE (2003) Essential metals – Case study on iron. Ecotoxicology and Environmental Safety 56(1): 190-200.
90. Gutiérrez AJ, González-Weller D, González T, Burgos A, Lozano G, Hardisson A (2008) Content of trace metals (iron, zinc, manganese, chromium, copper, nickel) in canned variegated scallops (*Chlamys varia*). International Journal of Food Science and Nutrition 59: 535-543.
91. Hardisson A, Frías I, de Bonis A (1998) Mercury in algae of the Canary Islands littoral. Environment International 24(8): 945-950.
92. Hardisson A, González-Padrón A, de Bonis A, Sierra A (1999) Determination of mercury in fish by cold vapour atomic absorption spectrometry. Atomic Spectroscopy 20(5): 191-193.
93. Hardisson A, Lozano G (1985) Mercurio en especies marinas. Alimentaria 163: 59-65.
94. Hardisson A, Revert C, González-Weller D, Gutiérrez A, Paz S, Rubio C (2017) Aluminium Exposure Through the Diet. HSOA Journal of Food Science and Nutrition 3: 1-10.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

95. Hardisson A, Rubio C; Báez A, Martín MM, Álvarez R, Díaz E (2001) Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. *Food Chemistry* 73: 153-161.
96. Hardwick LL, Jones MR, Brautbar N, Lee DBN (1991) Magnesium Absorption: Mechanisms and the Influence of Vitamin D, Calcium and Phosphate. *The Journal of Nutrition* 121(1): 13-23.
97. Haroun R, Gil-Rodríguez MC, Wildpret de la Torre W (2003) *Plantas Marinas de las Islas Canarias*. Canseco Editores S.L., Madrid (Spain).
98. Heaton EB, Savage DG, Brust JC, Garrett TJ, Lindenbaum J (1991) Neurologic aspects of cobalamin deficiency. *Medicine* 70(4): 229-245.
99. Heaney RP, Weaver CM, Recker RR (1988) Calcium absorbability from spinach. *The American Journal of Clinical Nutrition* 47(4): 707-709.
100. Herrera-Paz DL, de la Nuez D, Valero-Rodríguez JM (2015) Algae Communities as Bioindicators of Environmental Quality on a Rocky Shore of Mediterranean (S.E. Iberian Peninsula). *Revista de Ciencias* 19(1): 25-40.
101. Hetzel BS, Maberly GF (1986) Iodine. En: Mertz W (Eds), *Trace elements in human and animal nutrition*. 5ta Edición, volumen 2, Academic Press Inc, Estados Unidos.
102. Hight C, Cheng J (2005) Determination of total mercury in seafood by cold vapor-atomic absorption spectroscopy (CVAAS) after microwave decomposition. *Analytical, Nutritional and Clinical Method* 91(3): 557-570.
103. Hou X, Chai C, Qian Q, Yan X, Fan X (1997) Determination of chemical species of iodine in some seaweeds (I). *The Science of the Total Environment* 204: 215-221.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

104. Hurley SW, Johnson AK (2015) The biopsychology of salt hunger and sodium deficiency. *European Journal of Physiology* 467(3): 445-456.
105. Ibáñez E, Herrero M (2017) *Las algas que comemos*. CSIC. Catarata, España.
106. Ibs KH, Rink L (2003) Zinc-Altered Immune function. *The Journal of Nutrition* 133(5): 1452S-1456S.
107. Inaba T, Kobayashi E, Suwazono Y, Uetani M, Oishi M, Nakagawa H, Nogawa K (2005) Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-ita disease. *Toxicology Letters* 159(2): 192.201.
108. IOM (Institute of Medicine) (2001) Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine of the National Academies. *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. National Academy Press, Washington, USA.
109. IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) (1995) *Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods including Detection and Quantification Capabilities*. *Pure and Applied Chemistry* 67: 1699-1723.
110. IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) (1998) *The Determination of Mercury Species in Environmental and Biological Samples*. *Pure and Applied Chemistry* 70(8): 1585-1615.
111. Jamieson-Hanes JH, Shrimpton HK, Veeramani H, Ptacek CJ, Lanzirrotti A, Newville M, Blowes DW (2017) Evaluating zinc isotope fractionation under sulfate reducing conditions using a flow-through cell and in situ XAS analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 203: 1-14.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

112. Kampfenkel K, Van Montagu, Inze D (1995) Effects of Iron Excess on *Nicotiana plumbaginifolia* Plants (Implications to Oxidative Stress). *Plant Physiology* 107: 725-735.
113. Katz SA (1991) The Analytical Biochemistry of Chromium. *Environmental Health Perspectives* 92: 13-16.
114. Khan N, Ryu KY, Choi JY, Nho EY, Habte G, Choi H, Kim MH, Park KS, Kim KS (2015) Determination of toxic heavy metals and speciation of arsenic in seaweeds from South Korea. *Food Chemistry* 169: 464-470.
115. Klaassen CD, Liu J, Diwan BA (2009) Metallothionein protection of cadmium toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238(3): 215-220.
116. Krejpcio Z (2001) Essentiality of Chromium for Human Nutrition and Health. *Polish Journal of Environmental Studies* 10(6): 399-404.
117. Krewski D, Yokel RA, Nieboer E, Borchelt D, Cohen J, Harry J, Kacew S, Lindsay J, Mahfouz AM, Rondeau V. (2007). Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B Critical Reviews* 10(Suppl. 1): 1-269. doi:10.1080/10937400701597766
118. Krezel A, Maret W (2016) The biological inorganic chemistry of zinc ions. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 61: 3-19.
119. Leblanc C, Colin C, Cosse A, Delage L, La Barre S, Morin P, Fiévet B, Voiseux C, Ambroise Y, Verhaeghe E, Amouroux D, Donard O, Tessier E, Potin P (2006) Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie* 88: 1773-1785.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

120. Lemann J, Adams ND, Gray RW (1979) Urinary Calcium Excretion in Human Beings. *The New England Journal of Medicine* 301: 535-541.
121. Liu J, Qu W, Kadiiska MB (2009) Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238(3): 209-214.
122. López-Hidalgo AM (2017) Las macroalgas, ¿pueden ayudarnos a resolver problemas de índole mundial? *Universitarios Potosinos* 14(215): 4-10.
123. LPI (Linus Pauling Institute) (2017) Centro de Información de Micronutrientes. Minerales. Magnesio. [online] Disponible en: <http://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/magnesio> [Acceso 9-10-2017]
124. Luis González G (2014) Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife. Evaluación toxicológica. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, España.
125. Luo Y, Kawashima A, Ishido Y, Yoshihara A, Oda K, Hiroi N, Ito T, Ishii N, Suzuki K (2014) Iodine Excess as an Environmental Risk Factor for Autoimmune Thyroid Disease. *International Journal of Molecular Sciences* 15(7): 12895-12912.
126. MacArtain P, Gill CIR, Brooks M, Campbell R, Rowland IR (2007) Nutritional Value of Edible Seaweeds. *Nutrition Reviews* 65(12): 535-543.
127. Mahaffey KR (1977) Relation Between Quantities of Lead Ingested and Health Effects of Lead in Humans. *American Academy of Pediatrics* 59(3): 448-456.
128. Malhotra I, Gopinath S, Janga KC, Greenberg S, Sharma SK, Tarkovsky R (2014) Unpredictable Nature of Tolvaptan in Treatment of Hypervolemic

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- Hyponatremia: Case Review on Role of Vaptans. Case Reports in Endocrinology.  
DOI: 10.1155/2014/807054.
129. Martínez CS, Alterman CDC, Peçanha FM, Vassallo DV, Mello-Carpes PB, Miguel M, Wiggers GA (2017) Aluminum Exposure at Human Dietary Levels for 60 Days Reaches a Threshold Sufficient to Promote Memory Impairment in Rats. *Neurotoxicity Research* 31:20-30.
130. Martino E, Bartalena L, Bogazzi F, Braverman LE (2001) The effects of amiodarone on the thyroid. *Endocrine Reviews* 22:240-54.
131. Mehta SK, Gaur JP (2005) Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater: Progress and Prospects. *Official Reviews in Biotechnology* 25: 113-152.
132. Mejía M, Bülow L (2001) Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals. *TREND in Biotechnology* 19(2): 67-73.
133. Melse-Boonstra A, Jaiswal N (2010) Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* 24: 29-38.
134. Mertz W (1981) The essential trace elements. *Science* 213(4514): 1332-1338.
135. Mertz W (1987) Lithium. En: Mertz W (Eds) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 5ta Edición, volumen 2, Academic Press Inc, Estados Unidos.
136. Mertz W (1993) Chromium in Human Nutrition: A Review. *The Journal of Nutrition* 123(4): 626-633.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

137. Michikawa T, Inoue M, Shimazu T, Sawada N, Iwasaki M, Sasazuki S, Yamaji T, Tsugane S (2012) Seaweed consumption and the risk of thyroid cancer in women: the Japan Public Health Center-based Prospective Study. *European Journal of Cancer Prevention* 21(3): 254-260.
138. Mills CF, Davis GK (1987) Molybdenum. En: Mertz W (Eds) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, (5<sup>th</sup> ed), volumen 1, Academic Press Inc, Estados Unidos.
139. Miranda I (2018) La justicia europea multa a España con 12 millones por tratar mal sus aguas residuales. ABC Sociedad. Disponible online en: [https://www.abc.es/sociedad/abci-justicia-europea-punto-condenar-espana-no-tratar-aguas-residuales-201807250824\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-justicia-europea-punto-condenar-espana-no-tratar-aguas-residuales-201807250824_noticia.html) [Acceso 30/07/2018].
140. Morreale de Escobar G, Escobar del Rey F (2000) El yodo durante la gestación, lactancia y primera infancia. Cantidades mínimas y máximas: de microgramos a gramos. *Anales Españoles de Pediatría* 53(1): 1-5.
141. Moll R, Davis B (2017) Iron, vitamin B12 and folate. *Medicine*. 45(4): 198-203.
142. Myers GJ, Thurston SW, Pearson AT, Davidson PW, Cox C, Shamlaye CF, Cernichiari E, Clarkson TW (2009) Postnatal exposure to methyl mercury from fish consumption: A review and new data from the Seychelles Child Development Study. *NeuroToxicology* 30(3): 338-349.
143. Nielsen FH (1987a) Other Elements: Sb, Ba, B, Br, Cs, Ge, Rb, Ag, Sr, Sn, Ti, Zr, Be, Bi, Ga, Au, In, Nb, Sc, Te, Tl, W. En: Mertz W (Eds) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, (5<sup>th</sup> ed), volumen 2, Academic Press Inc, Estados Unidos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

144. Nielsen FH (1987b) Vanadium. En: Mertz W (Eds) Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 5ta Edición, volumen 1, Academic Press Inc, Estados Unidos.
145. Nielsen FH (1987c) Nickel. En: Mertz W (Eds) Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 5ta Edición, volumen 1, Academic Press Inc, Estados Unidos.
146. Nielsen FH (1994) Biochemical and physiologic consequences of boron deprivation in humans. Environmental Health Perspectives 102(Supl 7): 59-63.
147. Nielsen FH, Hunt CD, Mullen LM, Hunt JR (1987) Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. The FASEB Journal 1(5): 394-7.
148. Nielsen SP (2004) The biological role of strontium. Bone 35: 583-588.
149. Nishi Y (1996) Zinc and growth. Journal of the American College of Nutrition 15(4): 340-344.
150. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg L (2007) Handbook on the Toxicology of Metals, Academic Press, Amsterdam, Netherlands, 3rd edition.
151. Ohashi F, Fukui Y, Takada S, Moriguchi J, Ezaki T, Ikeda M (2006) Reference values for cobalt, copper, manganese, and nickel in urine among women of the general population in Japan. International Archives of Occupational and Environmental Health 80: 117-126.
152. Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Adachi T, Sakata T, Sakaguchi E (1995) Calcium and Magnesium Absorption from the Colon and Rectum Are Increased in Rats Fed Fructooligosaccharides. The Journal of Nutrition 125(9): 2417-2424.
153. Organic Monitor (2014) The European Market for Sea Vegetables. Pp. 1-36.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

154. Palaniappan R, Muthulingam M (2016) Impact of Heavy Metal, Chromium on Protein Metabolism in Brain and Muscle of Freshwater Fish, *Channa striatus* (BLOCH). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 5(7): 638-647.
155. Papanikolaou G, Pantopoulos K (2005) Iron metabolism and toxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology* 202(2): 199-211.
156. Paz S, Rubio C, Gutiérrez A, Revert C, González-Weller D, Hardisson A (2018a) Metal content in tofu. Nutritional or toxic food? Book of Abstracts P20. Annual Congress 2018, Newcastle, Reino Unido.
157. Paz S, Rubio C, Frías I, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Revert C, Hardisson A (2018b) Metal Concentrations in Wild-Harvested Phaeophyta Seaweed from the Atlantic Ocean (Canary Islands, Spain). *Journal of Food Protection* 81(7): 1165-1170.
158. Pennington JA (1990) A review of iodine toxicity reports. *Journal of the American Dietetic Association* 90:1571-81.
159. Pilotto LS, Douglas RM, Burch MD, Cameron S, Beers M, Rouch GJ, Robinson P, Kirk M, Cowie CT, Hardiman S, Moore C, Attewell RG (1997) Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 21(6): 565-6.
160. Pooja S (2014) Algae used as Medicine and Food-A Short Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 6(1): 33-35.
161. Prabhasankar P, Ganesan P, Bhaskar N, Hirose A, Stephen N, Gowda LR, Hosokawa M, Miyashita K (2009) Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria*

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- pinnatifida) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. Food Chemistry 115: 501-508.
162. Prasad AS (1988) Zinc in growth and development and spectrum of human zinc deficiency. Journal of the American College of Nutrition 7(5): 377-384.
163. Prasad AS (2009) Impact of the Discovery of Human Zinc Deficiency on Health. Journal of the American College of Nutrition 28(3): 257-265.
164. Pravina P, Sayaji D, Avinash M (2013) Calcium and its Role in Human Body. International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences 4(2): 659-668.
165. Rabinowitz MB, Kopple JD, Wetherill GW (1980) Effect of food Intake and fasting on gastrointestinal lead absorption in humans. The American Journal of Nutrition 33(8): 1784-1788.
166. Rahav, E. y Bar-Zeev, E (2017) Sewage outburst triggers Trichodesmium bloom and enhance N<sub>2</sub> fixation rates. Scientific Reports, 7: 4367. DOI: 10.1038/s41598-017-04622-8
167. Reilly C (1980) Metal Contamination of Food. Applied Science Publishers. Londres, Reino Unido.
168. Rodríguez M, Gutiérrez AJ, Rodríguez N, Rubio C, Paz S, Martín V, Revert C, Hardisson A (2018) Assessment of mercury content in Panga (*Pangasius hypophthalmus*). Chemosphere 196: 53-57.
169. Rodríguez-Jiménez TJ, Ojeda-Barrios DL, Blanco-Macías F, Valdez-Cepeda RD, Parra-Quezada R (2014) Ureasa y níquel en la fisiología de las plantas. Revista Chapingo Serie Horticultura 22(2): 69-81.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

170. Rubio C, Gutiérrez AJ, Martín-Izquierdo RE, Revert C, Lozano G, Hardisson A (2004) El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología* 21: 72-80.
171. Rubio C, Hardisson A, Reguera JI, Revert C, Lafuente MA, González-Iglesias T (2006) Cadmium dietary intake in the Canary Islands, Spain. *Environmental Research* 100(1): 123-129.
172. Rubio C, González Weller D, Martín-Izquierdo RE, Revert C, Rodríguez I, Hardisson A (2007) El zinc: oligoelemento esencial. *Nutrición Hospitalaria* 22(1): 101-107.
173. Rubio C, Gutiérrez A, Burgos A, Hardisson A (2008) Total dietary intake of mercury in the Canary Islands, Spain. *Food Additives and Contaminants* 25(8): 946-952.
174. Rubio C, Napoleone G, Luis-González G, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Hardisson A, Revert C (2017a) Metals in edible seaweed. *Chemosphere* 173: 572-579.
175. Rubio C, Paz S, Ojeda I, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Hardisson A, Revert C (2017b) Dietary Intake of Metals from Fresh Cage-Reared Hens' Eggs in Tenerife, Canary Islands. *Journal of Food Quality* <http://doi.org/10.1155/2017/5972153>
176. Rubio C, Martínez C, Paz S, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Revert C, Burgos A, Hardisson A (2018a) Trace element and toxic metal intake from the consumption of canned mushrooms marketed in Spain. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 237.
177. Rubio C, Ojeda I, Gutiérrez AJ, Paz S, González-Weller D, Hardisson A (2018b) Exposure assessment of trace elements in fresh eggs from free-range and

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

- home-grown hens analysed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). *Journal of Food Composition and Analysis* 69: 45-52.
178. Rubio C, Martínez C, Paz S, Gutiérrez AJ, González-Weller D; Revert C, Burgos A, Hardisson A (2018c) Trace element and toxic metal intake from the consumption of canned mushrooms marketed in Spain. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 237.
179. Rubio C, Paz S, Tius E, Hardisson A, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Caballero JM, Revert C (2018d) Metal Contents in the Most Widely Consumed Commercial Preparations of Four Different Medicinal Plants (Aloe, Senna, Ginseng, and Ginkgo) from Europe. *Biological Trace Element Research* <http://doi.org/10.1007/s12011-018-1329-7>
180. Ruíz-Navarro M, Rubio Armendáriz C, Luis González G, Ojeda Feo I, González-Weller D, Gutiérrez Fernández AJ, Hardisson de la Torre A (2013) Metales en algas comestibles: Evaluación y estudio comparativo. *Revista de Toxicología* 30(2): 182-192.
181. Ruusunen M, Puolanne E (2005) Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science* 70(3): 531-541.
182. Rybak A, Messyasz B, Leska B (2012) Freshwater Ulva (Chlorophyta) as a bioaccumulator of selected heavy metals (Cd, Ni and Pb) and alkaline earth metals (Ca and Mg). *Chemosphere* 89(9): 1066-1076.
183. Salas Corona J, Cruz Caparrós G, Laynez Bretones F, Díez García F (2002) Hipertiroidismo inducido por consumo de algas marinas. *Medicina Clínica* 118(20): 796-9.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

184. Samman S, Naghii MR, Lyons Wall PM, Verus AP (1998) The nutritional and metabolic effects of boron in humans and animals. *Biological Trace Element Research* 66(1-3): 227-235.
185. Sangiuliano D, Rubio C, Gutiérrez AJ, González-Weller D, Revert C, Hardisson A, Zanardi E, Paz S (2017) Metal Concentrations in Samples of Frozen Cephalopods (Cuttlefish, Octopus, Squid, and Shortfin Squid): An Evaluation of Dietary Intake. *Journal of Food Protection* 80(11): 1867-1871.
186. Sawidis T, Brown MT, Zachariadis G, Sratis I (2001) Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. *Environment International* 27: 43-47.
187. SCF (Scientific Committee on Food) (2000) Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Molybdenum. European Commission. Health and Consumer Protection Directorate - General. Final 28 November 2000. 1-15.
188. Scharuzer GN (1976) New Developments in the Field of Vitamin B12: Reactions of the Cobalt Atom in Corrins and in Vitamin B12 Model Compounds. *Angewandte Chemie International Edition*. 15(7). DOI: 10.1002/anie.197604171.
189. SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risk) (2012) Assessment of the Tolerable Daily Intake of Barium. European Commission <http://doi.org/10.2772/49651>
190. Schwarz K, Mertz W (1959) Chromium (III) and the glucose tolerance factor. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 85: 292-295.
191. Senyk JI (1977) The Determination of Iodide in Seaweed. *Journal of Chemical Education* 54(8): 511-513.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

192. Shams El-Din NG, Mohamedein LI, El-Moselhy KhM (2014) Seaweeds as bioindicators of heavy metals off a hot spot area on the Egyptian Mediterranean Coast during 2008-2010. *Environmental Monitoring and Assessment* 186: 5865-5881.
193. Shelor CP, Campbell CA, Kroll M, Dasgupta PK, Smith TL, Abdalla A, Hamilton M, Muhammad TW (2011) Fenton Digestion of Milk for Iodine analysis. *Analytical Chemistry* <http://doi.org/10.1021/ac202165e>
194. Shelor CP, Dasgupta PK (2011) Review of analytical methods for the quantification of iodine in complex matrices. *Analytica Chimica Acta* 702: 16-36.
195. Singh NK, Raghubanshi AS, Upadhyay AK, Rai UN (2016) Arsenic and other heavy metal accumulation in plants and algae growing naturally in contaminated area of West Bengal, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 130: 224-233.
196. Singh RP, Tripathi RD; Snha SK, Maheshwari R, Srivastava HS (1997) Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere* 34(11): 2467-2493.
197. Sjögren B, Iregren A, Elinder CG, Yokel RA (2007) Chapter 17: Aluminum. In: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg L (eds) *Handbook on the Toxicology of Metals*. 3rd Edition. Academic Press: Amsterdam
198. Stévant P, Marfaing H, Duinker A, Fleurence J, Rustad T, Sandbakken I, Chapman A (2018) Biomass soaking treatments to reduce potentially undesirable compounds in the edible seaweeds sugar kelp (*Saccharina latissimi*) and winged kelp (*Alaria esculenta*) and health risk estimation for human consumption. *Journal of Applied Phycology* 30(3): 2047-2060.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

199. Suter PM (1999) The effect of potassium, magnesium, calcium, and fiber on risk of stroke. *Nutrition Reviews* 57(3): 84-8.
200. Tapiero H, Tew KD (2003) Trace elements in human physiology and pathology: zinc and metallothioneins. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 57(9): 399-411.
201. Tejera Pérez RL (2017) Metales en harinas fabricadas en Canarias. Evaluación nutricional y toxicológica. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, España.
202. Tellería Martín A, Jiménez Urrea I, Ramos Castro J, Salvador Ballaz B, Izura Cea J, Sáenz Bañuelos JJ, Lánder Azcona A, Martínez Segura JM, Susperregui Insausti I, Manrique Larralde A (2000) Intoxicación aguda severa por litio complicada con F.M.O. *CIMC Abstracts* 2000.
203. Tokudome S, Kuriki K, Moore MA (2001) Seaweed and Cancer Prevention. Letter to the Editor. *Japanese Journal of Cancer Research* 92: 1008-1010.
204. Topcuoglu S, Güven KC, Balkis N, Kirbasoglu Ç (2003) Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea, 1998-2000. *Chemosphere* 52: 1683-1688.
205. Untoro J, Timmer A, Schultink W (2010) The challenges of iodine supplementation: a public health programme perspective. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* 24: 89-99.
206. USDA (United States Department of Agriculture) (2017a) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Basic Report: 11669, Seaweed, wakame, raw.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

207. USDA (United States Department of Agriculture) (2017b) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Basic Report: 11444, Seaweed, Irish moss, raw.
208. USDA (United States Department of Agriculture) (2017c) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Full Report (All Nutrients): 11445, Seaweed, kelp, raw.
209. USDA (United States Department of Agriculture) (2017d) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Full Report (All Nutrients): 11099, Brussels sprouts, cooked, boiled, drained, without salt.
210. USDA (United States Department of Agriculture) (2017e) National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Full Report (All Nutrients): 11304, Peas, green, raw.
211. USDA (United States Department of Agriculture) (2017f) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Full Report (All Nutrients): 11457, Spinach, raw.
212. USDA (United States Department of Agriculture) (2017g) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Full Report (All Nutrients): 45340760, ISOJIMAN NORI NORI, SEASONED LAVER, UPC: 4901271010452.
213. USDA (United States Department of Agriculture) (2017h) National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Basic Report: 12131, Nuts, macadamia nuts, raw.
214. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J (2007) Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 39(1): 44-84.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

215. Vallet M, Faus J, García-España E, Moratal J (2003) Introducción a la Química Bioinorgánica. Editorial Síntesis. Madrid, España.
216. van Wijngaarden E, Thurston SW, Myers GJ, Harrington D, Cory-Slechta D, Strain JJ, Watson GE, Zareba G, Love T, Henderson J, Shamlaye CF, Davidson PW (2017) Methyl mercury exposure and neurodevelopmental outcomes in the Seychelles Child Development Study Main cohort at age 22 and 24 years. *Neurotoxicology and Teratology* 59: 35-42.
217. Voegborlo RB, Akagi H (2007) Determination of mercury in fish by cold vapour atomic absorption spectrometry using an automatic mercury analyzer. *Food Chemistry* 100: 853-858.
218. Vormann J (2003) Magnesium: nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine* 24(1-3): 27-37.
219. Walter PB, Knutson MD, Paler-Martínez A, Lee S, Xu Y, Viteri FE, Ames BN (2002) Iron deficiency and iron excess damage mitochondria and mitochondrial DNA in rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(4): 2264-2269.
220. Wang C, Yatsuya H, Li Y, Ota A, Tamakoshi K, Fujino Y, Mikami H, Iso H, Tamakoshi A (2016) Prospective study of seaweed consumption and thyroid cancer incidence in women: the Japan collaborative cohort study. *European Journal of Cancer Prevention* 25(3): 239-45.
221. Weaver CM, Heaney RP (2006) Calcium in Human Health. Nutrition & Health. Humana Press. Nueva Jersey, Estados Unidos.
222. WHO (World Health Organization) (2001) Iron deficiency anaemia: assessment, prevention and control. A guide for programme managers. WHO/NHD/01.3.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

223. WHO (World Health Organization) (2006) Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds. Concise International Chemical Assessment Document, 69.
224. WHO (World Health Organization) (2010) Strontium and strontium compound. Concise International Chemical Assessment Document. 77: 1-63.
225. WHO (World Health Organization) (2011a) Molybdenum in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Rev. 1.
226. WHO (World Health Organization) (2011b) Manganese in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Rev.1.
227. Wisnu C (2008) Determination of iodine species content in iodized salt and foodstuff during cooking. International Food Research Journal 15(3): 325-330.
228. Wojciak RW (2014) The assessment of the food restrictions on the iron status in animal models and human anorexia. Trace Elements and Electrolytes 31(3): 108-115.
229. Yan Y, Shapiro JI (2016) The physiological and clinical importance of sodium potassium ATPase in cardiovascular diseases. Current Opinion in Pharmacology 27: 43-49.
230. Yeh TS, Hung NH, Lin TC (2014) Analysis of iodine content in seaweed by GC-ECD and estimation of iodine intake. Journal of Food and Drug Analysis. 22(2): 189-196.
231. Zimmermann MB (2011) The role of iodine in human growth and development. Seminars in Cell & Developmental Biology 22: 645-652.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

*Determinación de metales y elementos traza en algas: Evaluación nutricional y toxicológica*

232. Zurawell RW, Chen H, Burke JM, Prepas EE (2005) Hepatotoxic Cyanobacteria: A Review of the Biological Importance of Microcystins in Freshwater Environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B. Critical Reviews* 8(1): 1-37.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09



# Abreviaturas



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09

## ABREVIATURAS

AECOSAN: Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición

CV-AAS: cold vapor atomic absorption spectrometry

EFSA: Environmental Food Safety Authority

FESNAD: Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética

ICP-OES: inductively coupled plasma optical emission spectrometry

IDA: ingesta diaria admisible

IDE: ingesta diaria estimada

IDR: ingesta diaria recomendada

IOM: Institute of Medicine

LOD: límite de detección

LOQ: límite de cuantificación

SCHER: Scientific Committee on Health and Environmental Risks

TDI: tolerable daily intake o ingesta diaria tolerable

TWI: tolerable weekly intake o ingesta semanal tolerable

UL: upper level intake o ingesta máxima

WHO: World Health Organization

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 1566714

Código de verificación: REKvZGR+

Firmado por: SORAYA PAZ MONTELONGO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/09/2018 12:13:19

Arturo Hardisson de la Torre  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:18:09

María Inmaculada Frías Tejera  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/09/2018 12:20:09