

Algas comestibles como fuente dietética de metales tóxicos

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

JUAN JOSÉ PLASENCIA PERERA

Máster en Seguridad y Calidad de los Alimentos

Tutora: Carmen Rubio Armendáriz

Área de Toxicología, ULL

Curso 2019/2020

AUTORIZACIÓN

Dra. Carmen Rubio Armendáriz, Profesora Titular del Área de Toxicología del departamento de Obstetricia y Ginecología, Pediatría, Medicina Preventiva y Salud Pública, Toxicología, Medicina Legal y Forense y Parasitología de la Universidad de La Laguna,

INFORMA:

Que **D. Juan José Plasencia Perera**, alumno del Máster Universitario en Seguridad y Calidad de los Alimentos de la Universidad de La Laguna, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Máster con el título **“Algas comestibles como fuente dietética de metales tóxicos”**

Revisado el presente trabajo, autorizo su presentación para que proceda a su lectura y defensa pública para optar al título del Máster Universitario en Seguridad y Calidad de los Alimentos.

En San Cristóbal de La Laguna a 29 de mayo del 2020



Fdo: Carmen Rubio Armendáriz

Agradecimientos

A mi tutora, la Dra. Carmen Rubio Armendáriz, por apoyarme en todo momento y por su ayuda tanto dentro como fuera de las aulas. Este trabajo no habría sido posible sin ella.

A los profesores, Dr. Arturo Hardisson de la Torre y al Dr. Ángel J. Gutiérrez Fernández, por su inestimable ayuda y su sabiduría durante el desarrollo experimental de este trabajo.

A la Dra. Soraya Paz Montelongo, por su ayuda, paciencia y cercanía. Sin ella no habría sido posible un entorno tan familiar y cercano en el Departamento.

A mis compañeros del Máster en Seguridad y Calidad de los Alimentos. Hemos logrado formar una comunidad con solo unos meses de convivencia, ayudándonos mutuamente y compartiendo los ratos libres entre clases. Todos ellos son personas excepcionales.

A Eric Leandro Montesdeoca Tacoronte por ser la mejor persona que he conocido en este Máster. Eres un verdadero amigo.

A mi familia, por creer en mí y apoyarme en cualquier circunstancia.

A Paula Fleitas Ramírez, por alegrar mi vida cada día.

Índice

Resumen	4
Introducción	5
Objetivos	8
Material y Método	9
3.1 Muestras	9
3.2 Procedimiento Analítico	9
Resultados y Discusión	11
Conclusiones	17
Referencias	18
Anexos	21

Resumen

Las algas han formado parte de la cultura tradicional gastronómica en países asiáticos pero su consumo en Occidente es creciente. Contaminantes marinos como los metales cadmio, plomo y aluminio pueden acumularse en ellas y suponer riesgo para el consumidor tras su acceso a la cadena trófica. Las algas comestibles de distintas especies comercializadas en Canarias han sido adquiridas en la isla de Tenerife con objeto de determinar y evaluar su contaminación con metales pesados. Los niveles de concentración usados en esta evaluación del riesgo proceden de estudios previos llevados a cabo por el Área de Toxicología de la ULL. Las especies de algas estudiadas no presentan concentraciones que supongan un riesgo para la salud pero se observa que las muestras procedentes de Asia destacan por presentar mayores niveles de Pb, Cd y Al. El consumo creciente de este nuevo alimento supone una nueva fuente dietética de metales para el ser humano por lo que sería recomendable implementar a nivel europeo límites máximos de estos metales en este nuevo grupo de alimentos e incluirlo en las campañas de monitorización y en los estudios de exposición dietética de las distintas poblaciones.

Abstract

Seaweeds have been part of the traditional gastronomic culture in Asian countries but their consumption in the West is increasing. Marine pollutants such as cadmium, lead and aluminum can accumulate in them and pose a risk to the consumer after accessing the food chain. Different species of edible seaweed marketed on the Canary Islands and purchased in Tenerife have been acquired to determine and evaluate their contamination levels. The concentration levels used in this risk assessment comes from previous studies carried out by the ULL Toxicology Area. The seaweed species studied do not present concentrations that pose a health risk, but it is observed that the samples from Asia stand out for having higher levels of Pb, Cd and Al. The increasing consumption of this new food represents a new dietary source of metals for humans, so it would be advisable to implement maximum limits for these metals at a European level in this new food group and include it in monitoring campaigns and in dietary exposure studies of different populations.

Introducción

El consumo de algas ha formado parte de la alimentación tradicional en Asia y actualmente experimenta un incremento en el mundo occidental. Según la FAO la producción de algas en Europa supone un 10% de la producción global (Richards, 1990; McHugh, 2003).

Las algas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- **Algas azules o cianobacterias:** Entre las algas azules comestibles se encuentra la *Espirulina* consumida muy habitualmente por su contenido en β -caroteno, proteínas y otros minerales. Han sido clasificadas habitualmente como algas por sus similitudes morfológicas y metabólicas pese a ser organismos procariotas. Algunas de ellas son tóxicas por afectación del sistema nervioso central y/o hepático (Zurawell et al., 2005).
- **Algas rojas:** Incluyen un gran número de especies comestibles entre las que destacan *Palmaria palmata* (alga “dulce”), *Porphyra* (nori) o *Chondrus crispus* (musgo irlandés).
- **Algas pardas:** Entre ellas destacan la *Eisenia bicyclis* (Arame), *Laminaria ochroleuca* (Kombu) o *Undaria pinnatifida* (Wakame).
- **Algas verdes:** la *Chlorella sp.* o la *Ulva lactuca* (lechuga de mar) pertenecen a este grupo.

Las algas presentan un elevado interés nutricional por su contenido en: proteínas, vitamina B12, omega-3, selenio, yodo y fibra (MacArtain et al., 2007). Esta gran cantidad de proteínas juega un papel importante en la retención de tóxicos presentes como contaminantes en las aguas marinas. Entre estos tóxicos destacan metales como el cadmio, el plomo o el aluminio.

El cadmio (Cd) es un metal de transición nefrotóxico que causa daños irreversibles en los túbulos renales y la reabsorción de nutrientes (Godt et al. 2006; Liu et al., 2009). Ingestas abusivas de alimentos contaminados por cadmio pueden dar lugar a malformaciones esqueléticas como la enfermedad de *Itai-Itai* ocurrida en Japón a principios del siglo XX (Inaba et al., 2005). En estado oxidado (Cd^{2+}) compite en el organismo con otros cationes divalentes como el Zn^{2+} , Fe^{2+} o el Cu^{2+} y forma complejos estables con biomoléculas, alterando o impidiendo el correcto funcionamiento de estas (Goyer, 1997). En personas no fumadoras, la principal vía de exposición al cadmio se produce por vía alimentaria. Arroz, tubérculos y vegetales han sido identificados como los alimentos más contaminados con este metal si bien el grupo de alimentos que más

contribuye a la ingesta dietética de este metal son las algas, el pescado o el marisco (Rubio et al., 2006; EFSA, 2009). La Ingesta Semanal Tolerable (TWI) de cadmio establecida por la EFSA es de 2,5 µg/kg persona/semana (EFSA, 2009).

Al igual que ocurre con el cadmio, el plomo (Pb) es un contaminante ambiental que se bioacumula y biomagnifica en las cadenas tróficas. Puede encontrarse oxidado como Pb^{2+} compitiendo en el organismo con otros cationes como el Zn^{2+} e inhibiendo enzimas y otras biomoléculas. En medios marinos se encuentra oxidado como Pb^{2+} formando complejos orgánicos que pueden ser absorbidos por las algas. El plomo es un metal pesado neurotóxico que también afecta al tejido renal, al TGI y al sistema hemático, entre otros (Rubio et al., 2004; Nordberg et al., 2007). Se encuentra en mayor concentración en frutas, verduras y cereales debido a la deposición del Pb atmosférico (Nordberg et al., 2007). Los umbrales de seguridad toxicológica preexistentes para este metal fueron desechados en 2010 por la agencia europea evaluadora del riesgo (EFSA) ante la falta de evidencia de umbrales de toxicidad para una serie de efectos en la salud (AECOSAN, 2018). Desde entonces, EFSA ha optado por evaluar la ingesta basándose en el BMDL (*BenchMark Dose lower confidence Limit*) referida a la toxicidad organoespecífica. De este modo se considera que el plomo desencadena nefrotoxicidad a partir de una ingesta diaria de 0,63 µg/kg peso corporal y efectos a nivel cardiovascular con una ingesta de 1,50 µg/kg en individuos adultos (EFSA, 2010).

El aluminio (Al) se encuentra de forma natural en el medio ambiente como consecuencia de factores naturales como la erosión o la acidificación de suelos. Sin embargo, la actividad antropogénica representa actualmente el principal foco de contaminación (Sjögren et al., 2007; Hardisson et al., 2017). La dieta constituye la principal vía de exposición del ser humano al Al pues este metal está presente en productos muy diversos: pastelería, vegetales, frutas, mariscos, especias o productos derivados del cacao, entre otros (EFSA, 2008). El uso de aluminio en envases destinados al transporte y almacenamiento de alimentos ha contribuido históricamente al aumento de su presencia en los alimentos, aunque en la actualidad existen medidas para controlar esta vía de contaminación y minimizar la exposición dietética del hombre (EFSA, 2013). La EFSA ha establecido una Ingesta Semanal Tolerable (TWI) para el aluminio de 1mg/kg persona/semana, aunque se estima que una gran parte de la población europea sobrepasa estos límites en la ingesta (EFSA, 2008).

En toxicología un **análisis del riesgo** presenta distintas etapas: evaluación del riesgo, gestión del riesgo y comunicación del riesgo (Hardisson, 2019; AECOSAN, 2020).

La evaluación del riesgo se divide a su vez en distintas fases (Figura 1):

1. **Determinación del peligro:** se identifican los agentes biológicos, químicos o físicos que pueden causar efectos perjudiciales en la salud y que pueden encontrarse en el medio o directamente en los alimentos.
2. **Caracterización del peligro:** se establece una relación dosis-respuesta.
3. **Evaluación de la exposición:** en base a la ingestión probable de estos agentes tóxicos.
4. **Caracterización del riesgo:** puede tener carácter tanto cualitativo como cuantitativo y que incluye las incertidumbres de que se produzca un efecto nocivo, conocido o potencial, y de la gravedad que entraña para la salud en una determinada población.

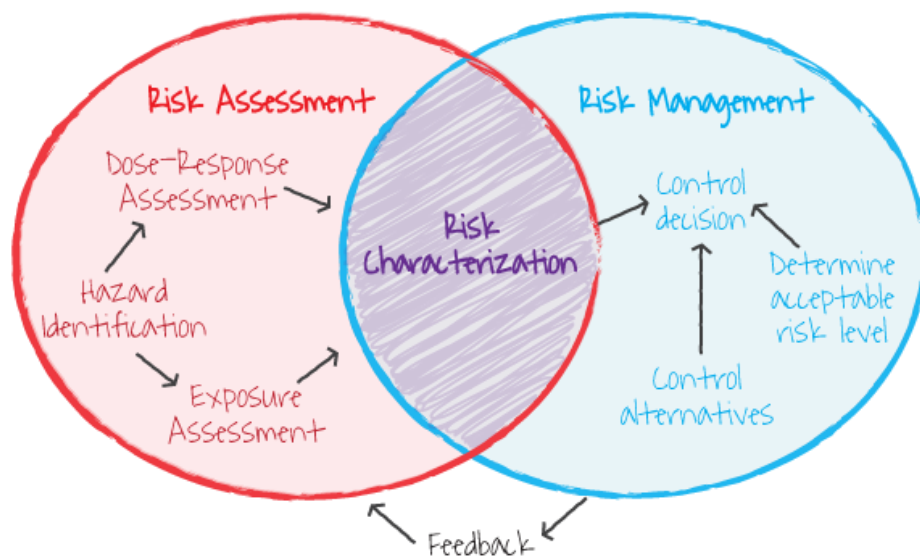


Figura 1. Etapas de la evaluación del riesgo toxicológico (NIH, 2020)

Una vez completada la evaluación se lleva a cabo la **gestión del riesgo** pues es la encargada de ponderar las distintas opciones normativas en base a los resultados de la evaluación, con las posibles soluciones a adoptar incluidas las medidas reglamentarias si fueran necesarias.

Por último, o bien en paralelo, se produce la **comunicación del riesgo** que consiste en el intercambio interactivo de información entre las personas encargadas de la gestión y los consumidores y/o colectivos/sectores. Se utilizan técnicas variadas que pueden englobar desde los medios de comunicación social a medios de comunicación masiva, grupos de interés, motivación comunitaria, elaboración de trípticos informativos, charlas comunitarias, entre otros. En los Anexos se incluyen ejemplos de comunicaciones de riesgo en alimentos.

Objetivos

1. Determinar las concentraciones de cadmio, plomo y aluminio presentes en algas comestibles.
2. Estimar la ingesta dietética (IDE) de cada metal según distintos escenarios de consumo.
3. Evaluar las IDE desde un punto de vista toxicológico en base a los límites de exposición establecidos por la EFSA.
4. Comparar y discutir los resultados con los publicados previamente.

Material y Método

3.1 Muestras

Se adquirieron un total de 30 muestras de algas pardas y rojas comercializadas en Tenerife (Islas Canarias). Las algas pardas obtenidas eran de las especies *Eisenia bicyclis* (Arame), *Laminaria ochroleuca* (Kombu) y *Undaria pinnatifida* (Wakame). Las algas rojas adquiridas fueron algas Nori pertenecientes al género *Porphyra*.

Las muestras fueron adquiridas entre enero y marzo del 2020 en los principales centros comerciales y herbolarios de Tenerife. Fueron llevadas al laboratorio y almacenadas a temperatura ambiente, en sus recipientes originales hasta su procesamiento.

3.2 Procedimiento Analítico

Durante el tratamiento de las muestras y su análisis se han utilizado reactivos químicos de calidad analítica y agua destilada obtenida a partir del sistema de purificación Milli-Q. Las muestras fueron almacenadas en recipientes de plástico estériles a modo de evitar cualquier posible contaminación.

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. Para evitar posibles contaminaciones de las muestras ha sido utilizado material de plástico y de vidrio, previamente lavado.

Se pesó 1,0 g de cada muestra en bombas de digestión ácida modelo GO for SmartVent con vaso para muestra de teflón de la marca Anton Parr. Se añadieron a la muestra pesada 2mL de peróxido de hidrógeno y 4mL de ácido nítrico concentrados y se procedió a su digestión en horno microondas modelo Multiwave GO Plus. De cada muestra de algas se realizaron 3 réplicas, obteniendo un total de 90 repeticiones.

Las muestras una vez digeridas se llevaron a matraces aforados de 10mL y se enrasaron con agua destilada. Finalmente se trasvasaron a recipientes de plástico estériles para su almacenamiento, ya preparadas para poder cuantificar la concentración de metales en el ICP. En la Figura 2 se esquematiza el procedimiento de preparación de la muestra.



Figura 2. Esquema conceptual del procedimiento analítico

Resultados y Discusión

Debido a la crisis sanitaria originada por el COVID-19 no se pudieron obtener resultados analíticos de las muestras preparadas en el laboratorio, por lo que se llevará a cabo una estimación de la cantidad de metales presentes en las mismas especies de algas a partir de estudios previos llevados a cabo por el Área de Toxicología de la ULL (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3).

Estableceremos una estimación para las especies de algas pardas *Laminaria ochroleuca*, *Undaria pinnatifida* y *Himanthalia elongata*; para el género de algas rojas *Porphyra* y para la mezcla, denominada comercialmente como “ensalada de algas”, compuesta por algas Wakame, Lechuga de mar y algas Nori.

Tabla 1. Cd, Pb y Al (media ± SD) en algas pardas comestibles (mg/kg de peso seco) (Rubio et al., 2017)				
Metal	Kombu (<i>Laminaria ochroleuca</i>)	Espagueti de mar (<i>Himanthalia elongata</i>)	Wakame (<i>Undaria pinnatifida</i>)	Ensalada de algas (Lechuga de mar, Nori y Wakame)
Cd	0,07 ± 0,03	0,82 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,33 ± 0,06
Pb	0,07 ± 0,05	0,02 ± 0,01	0,07 ± 0,03	0,08 ± 0,02
Al	7,97 ± 6,44	7,04 ± 5,66	11,7 ± 5,19	26,1 ± 0,00

Tabla 2. Media de concentraciones de Cd, Pb y Al en muestras de algas pardas comestibles según su continente de procedencia, expresadas en mg/kg de peso seco (Paz et al., 2018)						
Metal	Kombu (<i>Laminaria ochroleuca</i>)	Espagueti de mar (<i>Himanthalia elongata</i>)	Wakame (<i>Undaria pinnatifida</i>)		Ensalada de algas (Lechuga de mar, Nori y Wakame)	
	Europa	Europa	Europa	Asia	Europa	Asia
Cd	0,08 ± 0,1	0,11 ± 0,12	0,04 ± 0,03	1,11 ± 0,3	0,12 ± 0,05	0,06 ± 0,06
Pb	0,38 ± 0,2	0,23 ± 0,07	0,30 ± 0,1	0,31 ± 0,06	0,27 ± 0,07	0,49 ± 0,2
Al	34,7 ± 22	19,1 ± 8,6	31,5 ± 17	20,0 ± 4,4	15,5 ± 4,2	57,7 ± 35

Tabla 3. Media de concentraciones de Cd, Pb y Al en muestras de algas rojas expresadas en mg/kg de peso seco (Rubio et al., 2017)	
Metal	Nori (<i>Porphyra</i>)
Cd	0,58 ± 0,30
Pb	0,15 ± 0,21
Al	28,9 ± 27,3

Las concentraciones detectadas para los metales estudiados no son similares entre ambas publicaciones. Cabe destacar en ambos la mayor concentración de Al frente a la de Cd o Pb. Del mismo modo también se aprecia una mayor concentración de estas especies contaminantes en las muestras asiáticas frente a las europeas. No se aprecian, de forma significativa, diferencias entre especies que han sido analizadas en el mismo estudio ni entre algas pardas y rojas (Figura 3, Figura 4 y Figura 5).

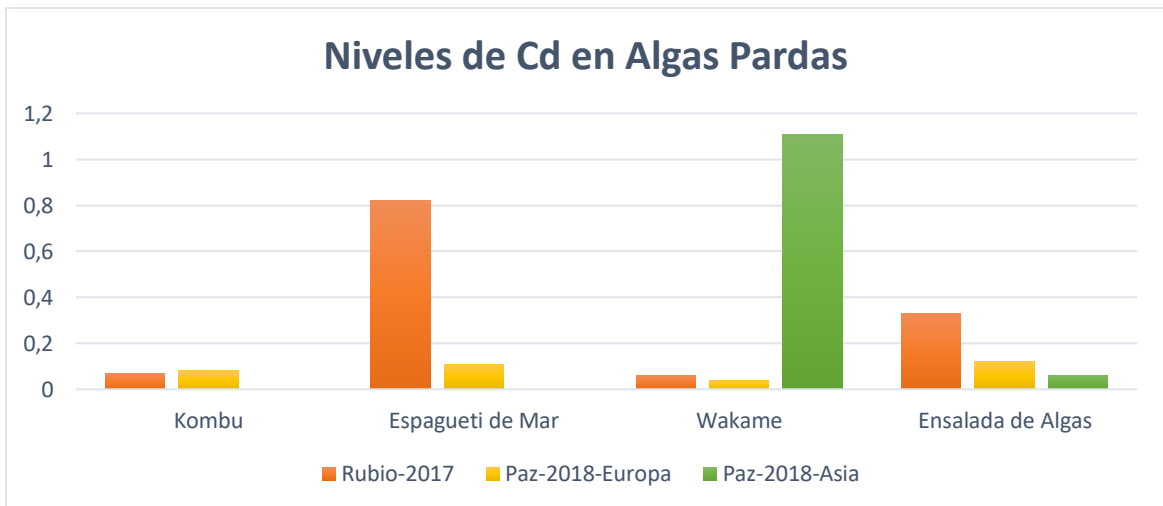


Figura 3. Gráfico comparativo de los niveles de Cd (mg/kg p.s.) en algas pardas

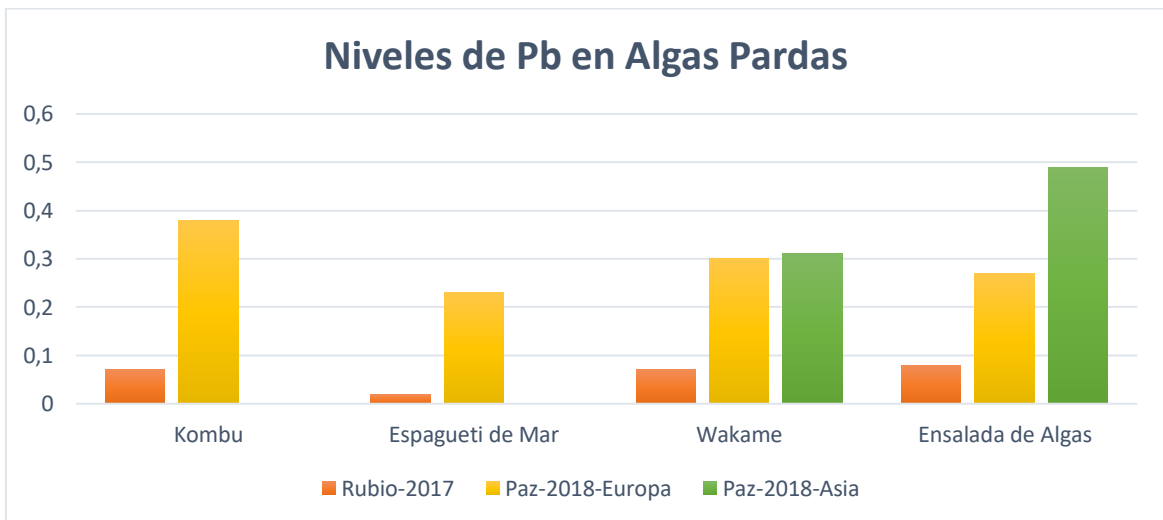


Figura 4. Gráfico comparativo de los niveles de Pb (mg/kg p.s.) en algas pardas

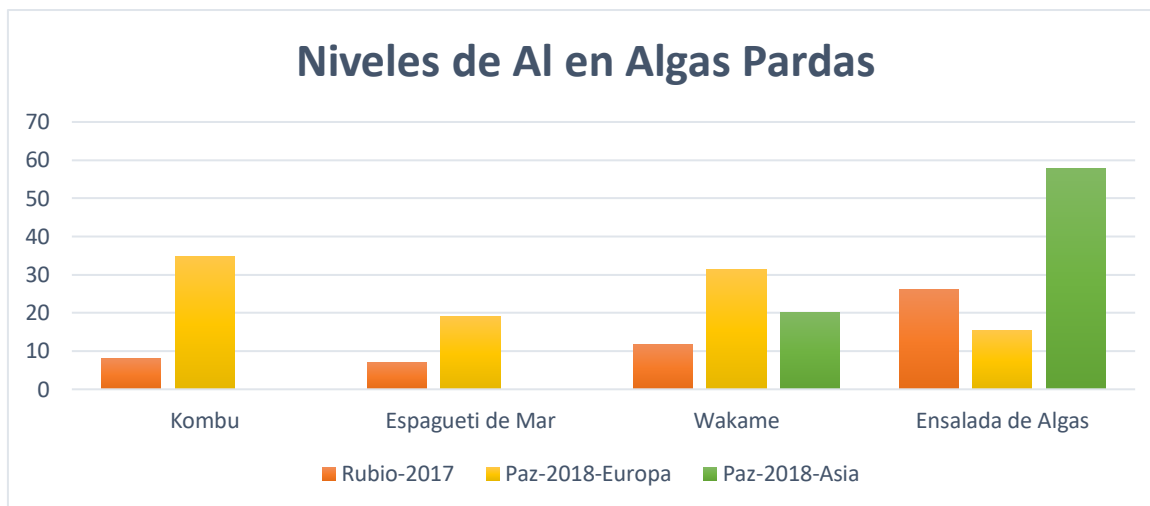


Figura 5. Gráfico comparativo de los niveles de Al (mg/kg p.s.) en algas pardas

Para la evaluación de la ingesta se ha considerado un escenario de consumo promedio de 4 g diarios de alga (Zava et al., 2011) y un peso promedio para adultos de 68,48 kg (AECOSAN, 2006).

Existen contribuciones significativas a las Ingestas Semanales Tolerables para el Cadmio. En el estudio realizado en 2017 (Rubio et al., 2017) se encontraron contribuciones superiores al 13% para los Espaguetis de Mar y superiores al 9% para las algas Nori. Por otro lado, podemos cuantificar contribuciones más altas en las algas Wakame procedentes de Asia tal y como se observa en los resultados hallados en 2018 (Paz et al., 2018). Se han cuantificado concentraciones de Cd que pueden llegar a contribuir con un 18% a la TWI tras un consumo diario de 4g de estas algas. En consumos superiores a 4 g/día, algo habitual en la población asiática, esta exposición dietética puede suponer un riesgo para la salud del consumidor. Con sólo 22 g Wakame/día un consumidor podría alcanzar el 100% de ingesta semanal de Cd sólo a partir de este alimento.

Para el caso del Plomo y del Aluminio las contribuciones a las TWI registradas adoptan valores inferiores que para los detectados en el Cadmio. Para el Pb se han obtenido estos porcentajes utilizando la BMDL a partir de la cual aparecen efectos nefrotóxicos. De este modo para el Pb no se observan niveles de contaminación que superen el 5% contribución a la BMDL. En referencia al Al observamos que las concentraciones cuantificadas en las muestras no representan un porcentaje de contribución que represente un posible riesgo para la salud. El valor máximo de contribución a la TWI lo encontramos en la Ensalada de Algas procedente de Asia, donde este porcentaje representa aproximadamente el 2,3% de contribución. La Tablas 4 y 5 presentan los porcentajes de contribución a las ingestas publicadas por ambos estudios.

Tabla 4. Porcentajes de contribución a las ingestas semanales de Cd, Pb y Al en algas pardas y rojas (Rubio et al., 2017)

Metal	Límite de ingesta recomendado	Kombu (<i>Laminaria ochroleuca</i>)		Espagueti de mar (<i>Himanthalia elongata</i>)		Wakame (<i>Undaria pinnatifida</i>)		Ensalada de algas (Lechuga de mar, Nori y Wakame)		Nori (Porphyra)	
		Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución
Cd	171,200 (TWI (µg/semana) 301,997	1,960	1,145	22,960	13,411	1,680	0,981	9,240	5,397	16,240	9,486
Pb	BMDL estimada para la aparición de efectos nefrotóxicos	1,960	0,649	0,560	0,185	1,960	0,649	2,240	0,742	4,200	1,391
Al	68480,000 TWI (µg/semana)	223,160	0,326	197,120	0,288	327,600	0,478	730,800	1,067	809,200	1,182

Tabla 5. Porcentajes de contribución a las ingestas semanales de Cd, Pb y Al en algas pardas procedentes de Asia y Europa (Paz et al., 2018)

Metal	Límite de ingesta recomendado	Kombu (<i>Laminaria ochroleuca</i>)		Espagueti de mar (<i>Himanthalia elongata</i>)		Wakame (<i>Undaria pinnatifida</i>)				Ensalada de algas (Lechuga de mar, Nori y Wakame)			
		Europa		Europa		Europa		Asia		Europa		Asia	
		Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución	Ingesta Semanal (µg/semana)	% Contribución
Cd	171,200 (TWI (µg/semana)	2,240	1,308	3,080	1,799	1,120	0,654	31,080	18,154	3,360	1,963	1,680	0,981
Pb	301,997 BMDL estimada para la aparición de efectos nefrotóxicos	10,640	3,523	6,440	2,132	8,400	2,781	8,680	2,874	7,560	2,503	13,720	4,543
Al	68480,000 TWI (µg/semana)	971,600	1,419	534,800	0,781	882,000	1,288	560,000	0,818	434,000	0,634	1615,600	2,359

Debido al creciente consumo de estos productos en occidente y en Europa, la investigación y los estudios sobre el valor nutricional y la seguridad de este nuevo alimento también ha aumentado. Existen discrepancias entre los niveles de metales en algas cultivadas en distintos países miembros de la UE (Bonanno et al., 2018). En algas producidas en la costa de Galicia (España) las concentraciones de cadmio y plomo no presentan niveles superen los límites máximos de ingesta establecidos por EFSA (Almela et al., 2006), registrando unas concentraciones máximas de 2,44 mg/kg p.s. para el plomo. Las algas cultivadas en las costas de países como Turquía o Grecia presentan para especies como *Caulerpa racemosa* o *Anadyomene stellata* concentraciones de cadmio anormalmente altas, $22,2 \pm 3,27$ mg/kg p.s. y 31,5 mg/kg p.s., respectivamente. Del mismo modo, países como Noruega producen algas con bajas concentraciones de estos metales que no supondrán un riesgo para la salud tras su ingesta, con unos valores inferiores a los establecidos por EFSA (Roleda et al., 2019). El creciente consumo, el interés por este grupo de alimento en la población y las diferencias cuantitativas en los niveles de contaminantes entre las distintas zonas de producción ponen sobre la mesa la necesidad de legislar de forma específica los niveles máximos permitidos de metales tóxicos en las algas comestibles.

La importación de estos productos desde Asia pueden representar una puerta de entrada de algas potencialmente más contaminadas que las producidas en la UE. El impacto medioambiental de vertidos tóxicos industriales en zonas de cultivo de algas como la costa de Palk Bay en India (Rajaram et al., 2020) o el Golfo de Kutch (Chakraborty et al., 2014) preocupan debido a que incrementan los niveles de metales pesados en las algas, superando los recomendados por instituciones como EFSA o la OMS (OMS, 1996) tanto para el Cd como para el Pb.

Queda reflejado cómo la época del Monzón influye en la concentración de contaminantes en las aguas. En muchos casos se ha cuantificado un aumento en los niveles de Cd, Pb y Aluminio en las algas cultivadas en las costas de Palk Bay (Figura 6). Estas algas presentan concentraciones de cadmio que pueden superar los 4 mg/kg p.s. para especies como la *Caulerpa racemosa* en épocas de monzón. Para el plomo las concentraciones son muy superiores, llegando a alcanzar cifras de hasta 15 mg/kg p.s. para esta misma especie en la misma época del año. Estas concentraciones representan un gran peligro para la salud pues con un consumo de solo 3 g al día se superaría el 100% de contribución a la ingesta, pudiendo desarrollar efectos tóxicos agudos por altos niveles de plomo, pudiendo llegar a causar serios daños renales. Debido a esta susceptibilidad al clima debería limitarse la producción y recogida de algas

en estas zonas geográficas, al igual que para otros alimentos de origen marino con capacidad para retener y acumular especies tóxicas, como pescados o mariscos.

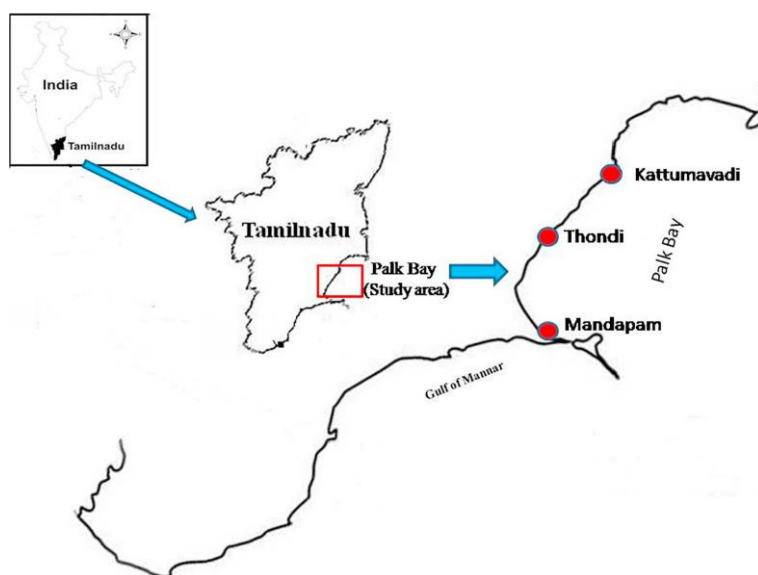


Figura 6. Zona de estudio de Palk Bay (Rajaram et al., 2020)

En el caso de algas originarias de Corea y Japón encontramos también altas concentraciones para el cadmio y el plomo, superando los niveles cuantificados para las europeas (Almela et al., 2006). Se detectaron mayores niveles para el cadmio en las especies *Porphyra sp.* procedentes de Corea (3,19 mg/kg p.s.) mientras que para el plomo las concentraciones más altas se encontraban en la especie *Hizikia fusiforme* (2,06 mg/kg p.s.); esto supondrán contribuciones a las ingestas de cadmio y plomo de un 52% y 19%, respectivamente, suponiendo una ingesta diaria de 4 g de plomo y un peso promedio de 68,48 kg. Estas algas también representarían un riesgo para la salud pues consumidores habituales podrían llegar a desarrollar efectos tóxicos a largo plazo como consecuencia de estos niveles de contaminación.

Conclusiones

Las algas son alimentos de gran interés debido a su calidad nutricional si bien su denominación como “superalimento” no sería correcta. Considerando que ningún alimento por si solo cumple con todas las necesidades nutricionales de un individuo, señalar a las algas como “superalimentos” induciría a confusión y creencias erróneas en los consumidores. Sin embargo, las algas comestibles producidas con estándares de calidad y comercializadas y distribuidas con seguridad podrían promocionarse como un grupo de alimento más en las dietas equilibradas y variadas. Este atractivo nutricional y sus múltiples beneficios, puede verse comprometido con algún riesgo derivado de su capacidad para retener contaminantes presentes en las aguas en las que se crecen y se producen. Es de esperar que aquellas especies cultivadas en zonas/costas sin presión industrial estén escasamente contaminadas por lo que la localización de la producción en estas áreas se entenderán como más idóneas. Promover zonas de producción seguras y de calidad e incluir información sobre el origen de forma clara en el etiquetado facilita la competitividad del producto y permite al consumidor realizar compras informadas y basadas en criterios de seguridad alimentaria. Numerosos estudios apuntan a que las muestras de algas comestibles originarias del continente asiático están potencialmente más contaminadas que las europeas con metales como Pb, Cd y Al. Es por ello que el consumidor europeo confía cada vez más el sello CE para sus productos alimenticios. Europa debe promover la producción europea, favorecer la exportación, y ser más exigente en el control de los productos importados para así velar por la seguridad de los alimentos que los europeos consumen. Sería recomendable generar un límite máximo específico de Pb, Cd y Al para algas comestibles en el Reglamento (CE) nº1881/2006 sobre el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios y considerar a las algas comestibles como un grupo de alimento más en los estudios de ingesta dietética total de metales pesados.

Referencias

- 1- AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2006) Modelo de dieta española para la determinación de la exposición del consumidor a sustancias químicas. Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid. España.
- 2- AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2018) Plomo [Página Web] Aecosan.msssi.gob.es [Actualizado 20 marzo 2018]. [Consultado el día 08/04/20] Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/plomo.htm
- 3- AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2020) Evaluación de riesgos [Página Web] Aecosan.msssi.gob.es [Consultado el día 22/04/20] Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/seccion/evaluacion_de_riesgos.htm
- 4- Almela C., Clemente M., Vélez D., Montoro R. (2006) Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain. Food and Chemical Toxicology 44,1901-1908
- 5- Bonanno G., Orlando-Bonaca M. (2018) Chemical elements in Mediterranean macroalgae. A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 148, 44-71
- 6- Bryan G.W. (1969). The absorption of zinc and other metals by the brown seaweed *Laminaria digitata*, *Journal of the Marine Biological Association*, 49, 225-230
- 7- Chakraborty S., Bhattacharya T., Singh G., Prakash J. (2014) Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: A biomonitoring approach for pollution assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety 100, 61-68
- 8- EFSA (European Food Safety Authority) (2008) Safety of aluminium from dietary intake. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). EFSA Journal 754:1-34.
- 9- EFSA (European Food Safety Authority) (2009). Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain, The EFSA Journal (2009) 980, 1-139
- 10- EFSA (European Food Safety Authority) (2010). Scientific opinion on lead in food. EFSA Panel on Contaminants in the foodchain (CONTAM), EFSA Journal 2010; 8(4):1570

- 11- EFSA (European Food Safety Authority) (2013). Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Supporting Publications 2013:EN-411
- 12- Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A., Groneberg D.A. (2006) The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 1: 22.
- 13- Goyer R.A. (1997) Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition* 17: 37-50.
- 14- 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.
- 15- Hardisson A. (2019) *La Evaluación del Riesgo en Toxicología*. Universidad de La Laguna
- 16- Inaba T., Kobayashi E., Suwazono Y., Uetani M., Oishi M., Nakagawa H., Nogawa K. (2005) Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-Itai disease. *Toxicology Letters* 159(2): 192-201.
- 17- Liu J., Qu W., Kadiiska MB. (2009) Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis. *Toxicology and Applied Pharmacology* 238(3): 209-214.
- 18- MacArtain P., Gill C., Brooks M., Campbell R., Rowland I. (2007) Nutritional value of edible seaweeds. *Nutrition Reviews*, 65, 535-543.
- 19- McHugh D. (2003) *A guide to the seaweed industry*, FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- 20- National Institute of Health (NIH) (2020) Risk Assessment [Página Web] toxtutor.nlm.nih.gov/ [Consultado el día: 29/05/2020] Disponible en: <https://toxtutor.nlm.nih.gov/06-001.html>
- 21- Nordberg G., Fowler B., Nordberg M., Friberg L. (2007) *Handbook on the Toxicology of Metals*, Academic Press, Amsterdam, Netherlands, 3rd edition.
- 22- OMS. 1996. *Permissible Limits of Heavy Metals in Soil and Plants*. World Health Organization, Geneva (Switzerland).
- 23- Paz S., Rubio C., Frías I., Gutiérrez A., González-Weller D., Martín V., Revert C., Hardisson A., (2018) Toxic metals (Al, Cd, Pb and Hg) in the most consumed edible seaweeds in Europe. *Chemosphere* 218:879-884
- 24- Rajaram R., Rameshkumar S., Anandkumar A. (2020) Health risk assessment and potentiality of green seaweeds on bioaccumulation of trace elements along the Palk Bay coast, Southeastern India. *Marine Pollution Bulletin* 154, 1111069
- 25- Richards N. (1990) *Production, Marketing and Trade of Seaweeds*; FAO Fisheries and Aquaculture Department: Rome, Italy.

- 26-** Roleda M., Marfaing H., Desnica N., Jónsdóttir R., Skjermo J., Rebours C., Nitschke U. (2019) Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications. *Food Control* 95,121-134
- 27-** Rubio C., Gutiérrez A.J., Martín-Izquierdo R.E., Revert C., Lozano G., Hardisson A. (2004) El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología* 21: 72-80.
- 28-** Rubio C., Hardisson A., Reguera J.I., Revert C., Lafuente M.A., González-Iglesias T. (2006) Cadmium dietary intake in the Canary Islands, Spain. *Environmental Research* 100(1): 123-129.
- 29-** Rubio C., Napoleone G., Luis-González G., Gutiérrez A.J., González-Weller D., Hardisson A., Revert C. (2017) Metals in edible seaweed. *Chemosphere* 173: 572-579.
- 30-** Sjögren B., Iregren A., Elinder C.G., Yokel R.A. (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
- 31-** Zava T., Zava D., (2011). Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: a literature based analysis. *Thyroid. Res.* 4, 14.
- 32-** Zurawell R.W., Chen H., Burke J.M., Prepas E.E. (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.

Anexos

- **Anexo 1:** El plomo y la salud – Infografías (OMS, 2020) Disponible en <https://www.who.int/phe/infographics/lead/es/> [Consultado 27/05/20]



Anexo I. Comunicación del riesgo sobre fuentes de exposición al plomo (OMS, 2020)

- **Anexo 2:** Recomendaciones de consumo de crustáceos para reducir la exposición de cadmio (AECOSAN, 2011): Disponible en http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/para_consumidor/Recomendaciones_cadmio.pdf [Consultado 27/05/20]
- **Anexo 3:** Preguntas Frecuentes – Semana de Acción Internacional para prevenir el envenenamiento por plomo (OMS, 2014) Disponible en https://www.who.int/phe/health_topics/faq_lead_poisoning_prevention_campaign_es.pdf?ua=1 [Consultado 27/05/20]