



TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2023-2024

**CONTENIDO DE METALES TÓXICOS
EN ALIMENTOS LIOFILIZADOS Y
DESHIDRATADOS**

CRISTIAN ARMAS DÍAZ

TUTORA: SORAYA PAZ MONTELONGO

MÁSTER EN SEGURIDAD Y CALIDAD DE LOS ALIMENTOS
FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Resumen

El estudio analiza la presencia de metales tóxicos (aluminio, cadmio y plomo) en alimentos liofilizados y deshidratados de la marca Forclaz en Tenerife. Los resultados muestran que, en las concentraciones de aluminio, cadmio y plomo, el Muesli con Chocolate presenta una de las mayores concentraciones para todos estos metales (2,723mg/kg, 0,013mg/kg y 0,005 mg/kg, respectivamente). La ingesta diaria estimada sugiere que, aunque no se superan los límites tolerables, los alimentos de desayuno y almuerzo/cena presentan contribuciones significativas en niños menores de tres años, especialmente en el caso del cadmio con una contribución del 61,0% en los alimentos de desayuno en niños menores de 3 meses. Estos hallazgos subrayan la importancia de mantener un control de calidad riguroso y una vigilancia continua para garantizar la seguridad alimentaria.

Palabras clave: metales tóxicos, alimentos liofilizados, aluminio, cadmio, plomo, caracterización del riesgo.

Abstract

The study analyzes the presence of toxic metals (aluminum, cadmium, and lead) in freeze-dried and dehydrated foods from the Forclaz brand in Tenerife. The results show that the Muesli with Chocolate has one of the highest concentrations of aluminum, cadmium, and lead (2,723 mg/kg, 0,013 mg/kg, and 0,005 mg/kg, respectively). The estimated daily intake suggests that, although tolerable limits are not exceeded, breakfast and lunch/dinner foods significantly contribute to the exposure in children under three years old, particularly cadmium with a contribution of 61,0% in breakfast foods for children under three months old. These findings highlight the importance of maintaining rigorous quality control and continuous monitoring to ensure food safety.

Keywords: toxic metals, freeze-dried foods, aluminum, cadmium, lead, risk characterization.

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	4
3. Materiales y método	5
3.1. Muestras	5
3.2. Reactivos, disoluciones y material	7
3.3. Aparatos e instrumentos	7
3.4. Procedimiento experimental.....	8
3.5. Evaluación de la exposición y caracterización del riesgo	9
4. Resultados	11
4.1. Concentraciones de metales tóxicos.....	11
4.2. Evaluación de la exposición	15
4.3. Caracterización del riesgo	17
4.4. Limitaciones del estudio.....	27
5. Conclusiones	28
6. Abreviaturas	29
7. Referencias	31

1. Introducción

En la última década, las comidas liofilizadas y deshidratadas han emergido como una opción popular para satisfacer las necesidades alimenticias tanto en situaciones de emergencia como en expediciones científicas y recreativas. El método de liofilización implica la eliminación del agua mediante sublimación, realizándose a bajas temperaturas y en ausencia de agua líquida. Este proceso se considera uno de los mejores métodos para el secado de alimentos termosensibles debido a que preserva la integridad nutricional y el sabor de los alimentos durante períodos prolongados, convirtiéndolos en una opción viable para una variedad de aplicaciones (1, 2).

Aunque la liofilización presenta numerosas ventajas, es un proceso caro debido al alto consumo de energía y al tiempo prolongado necesario para completar el secado. Por ello, se utiliza principalmente para productos de alto valor añadido o cuando la calidad del alimento justifica su uso (1). En el ámbito comercial, los alimentos deshidratados, que utilizan métodos de secado más convencionales, son más comunes debido a su menor costo (1).

El aumento en el consumo de alimentos liofilizados y deshidratados ha llevado a una creciente preocupación por la presencia de metales tóxicos en estos productos. Los metales tóxicos, como el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el aluminio (Al), pueden tener efectos adversos significativos sobre la salud humana incluso en concentraciones bajas (Tabla 1) (3, 4). A diferencia de los metales traza esenciales, que son necesarios en pequeñas cantidades para el funcionamiento óptimo de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, los metales tóxicos no tienen ningún papel biológico beneficioso y pueden ser peligrosos (5).

Tabla 1. Efectos de los metales tóxicos analizados en la salud.

Metal	Efectos	Referencia
Aluminio	Relacionado con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer	(3)
Cadmio	Disfunciones renales, aumento del riesgo de cáncer, enfermedad del Itai-Itai	(4)
Plomo	Neurotoxicidad, daños en el sistema nervioso central y periférico, disminución del coeficiente intelectual, problemas de comportamiento, dificultades de aprendizaje	(6)

El proceso de deshidratación puede concentrar estos metales en los alimentos debido a la reducción del contenido de agua. Dado que estos metales no se degradan químicamente, su acumulación en el medio ambiente y en los alimentos representa un riesgo significativo para la salud pública (5). La inhalación y la ingesta de alimentos son dos de las principales vías de exposición a estos metales, y los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, la concentración y, en algunos casos, la susceptibilidad de la población expuesta (7, 8).

En este contexto, es crucial realizar estudios sobre la determinación de los niveles de plomo, cadmio y aluminio en alimentos liofilizados y deshidratados, especialmente aquellos utilizados como comida para camping, debido a su uso extendido en actividades al aire libre, donde los consumidores dependen de ellos como una fuente principal de nutrición durante períodos prolongados. La seguridad de estos productos es crucial, dado que cualquier contaminación con metales tóxicos podría tener efectos adversos en la salud de los consumidores.

Los estudios previos sobre la presencia de metales tóxicos en alimentos deshidratados han mostrado que los niveles de estos metales pueden ser elevados, aunque no necesariamente superan los límites establecidos por las normativas internacionales. Sin embargo, la presencia de estos metales en cualquier concentración es motivo de preocupación debido a los posibles efectos acumulativos a largo plazo. La investigación en este campo ha subrayado la necesidad de un monitoreo continuo y riguroso de estos contaminantes para garantizar la seguridad alimentaria (9).

Se ha discutido en la literatura científica las posibles fuentes de contaminación por metales en estos alimentos. Entre ellas se incluyen el uso de agua contaminada durante el

procesamiento, el contacto con superficies de procesamiento contaminadas y la contaminación ambiental durante la producción y el almacenamiento. Para minimizar la contaminación por metales, se recomienda el uso de materiales de calidad alimentaria en los equipos de procesamiento, el monitoreo regular del agua utilizada y la implementación de sistemas de gestión de la calidad en todas las etapas de la producción (1).

En consecuencia, la presencia de metales tóxicos en alimentos liofilizados y deshidratados es un área de preocupación significativa que requiere atención continua. La industria alimentaria debe mantener altos estándares de seguridad alimentaria y aplicar prácticas de procesamiento rigurosas para garantizar que estos alimentos sean seguros para el consumo humano. La vigilancia continua y la mejora de las prácticas de procesamiento y control de calidad son esenciales para mitigar los riesgos asociados con la contaminación por metales tóxicos en los alimentos.

2. Objetivos

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene como objetivo principal la determinación del contenido de Al, Cd y Pb en comidas liofilizadas o deshidratadas disponibles comercialmente indicadas para camping, planteando los siguientes **objetivos específicos**:

- › Evaluar el riesgo toxicológico e ingesta de metales debido al consumo de comidas liofilizadas y deshidratadas indicadas para camping.
- › Comparar las concentraciones de metales pesados de la comida liofilizada o deshidratadas indicada para camping con los límites establecidos.

Además, con la realización de este TFM se pretenden alcanzar estos **objetivos generales**:

- › Aplicar los conocimientos aprendidos durante el desarrollo del Máster en Seguridad y Calidad de los Alimentos para la comprensión y discusión de los resultados obtenidos durante el trabajo.
- › Usar la bibliografía como medio de búsqueda de conocimiento para investigaciones actuales.
- › Desarrollar la capacidad investigadora, creativa, analítica, del pensamiento crítico y trabajo en equipo.
- › Aprender un método de trabajo y aprendizaje continuo dentro de un grupo de investigación.

3. Materiales y método

En este apartado se describen las muestras, los reactivos, todos ellos de calidad analítica o superior, así como las disoluciones y los materiales empleados en la realización del procedimiento experimental.

3.1. Muestras

Las muestras que fueron seleccionadas en este estudio se clasifican como comidas deshidratadas y liofilizadas para camping, todas de la marca Forclaz (Villeneuve d'Ascq Cedex, Francia). Dentro de esto se han seleccionado 10 muestras, de las disponibles en la oferta comercial de la isla de Tenerife (Tabla 2). Se realizó internamente una clasificación correspondiente al tipo de comidas a las que van destinadas siguiendo la clasificación del fabricante, y posteriormente una clasificación según su origen atendiendo a los ingredientes utilizados.

Tabla 2. Descripción de las muestras analizadas.

Tipos	Nombre comercial	Ingredientes	Origen
D	Preparación deshidratada para muesli con uvas (MP)	Cereales 60%, leche desnatada 11%, azúcar, uvas pasas 7,5%, piña 3,8%, papaya 3,7%, semillas de girasol caramelizadas 2,5%.	V
	Preparación liofilizada para muesli con frutos rojos (MFR)	Copos de avena 39 %, copos de centeno 28%, leche sin lactosa con azúcar 15 %, fresa 5,5%, semillas de girasol 5%, arándano 3%, grosellas 2,5 %, frambuesa 2%.	V
	Preparación deshidratada para muesli con chocolate (MC)	Copos de cereales 59%, pepitas de chocolate 12%, leche desnatada 10%, azúcar 10%, cereales con chocolate, cereales crujientes, semillas de lino 4,0%.	V

	Preparación para sémola vegetariana con verduras liofilizadas orgánicas (SV)	Sémola de trigo 36%, cebolla 18%, calabacines 15%, garbanzos 12%, zanahoria 6%, pimientos rojos 6%, semillas de calabaza 4%, aceite de oliva 2%, sal de mesa, especias, cilantro, perejil, harina de patata.	V
	Preparación deshidratada para quinoa y leguminosas (QL)	Lentejas verdes precocidas 19,6%, quinoa blanca 16,7%, quinoa roja 16,7%, crema en polvo 13,1%, copos de avena de centeno 11,5%, zanahoria 6,7%, cebolla 5%, proteínas de guisantes 4,2%, lino amarillo, harina de trigo malta tostada, sal, cilantro liofilizado 0,4% , pimiento de Espelette, antioxidante: extracto natural de romero.	V
A/C	Preparación deshidratada para arroz y pollo (liofilizado) al curry (PC)	Arroz precocido 40 %, crema 22,5 %, pollo cocinado liofilizado 15%, fécula de patata, anacardos 4,2%, curri 3,3%, calabacines liofilizados 2,1 %, sal, tomates, especias, hierbas aromáticas calotas, ajo.	A
	Preparación deshidratada para pastas a la boloñesa con carne de buey y queso liofilizados (PB)	Pastas un 50%, buey cocinado liofilizado 15%, tomates 15%, fécula de patata, queso liofilizado 5,0%, zanahorias 3,0%, azúcar, chalotas 1,5%, sal de mesa, hierbas provenza 0,3%, pimienta.	A
	Preparación liofilizada para sopa vegetariana de tomate con pimientos y pastas (SVERD)	Pastas 33%, pulpa de tomate 32%, pimiento rojo 16%, cebolla 10%, concentrado de tomate 8%, especias ajo, albahaca 0,05%, orégano 0,05%, azúcar, sal de mesa.	V

P	Preparación liofilizada para crumble de frambuesa (CF)	Harina de trigo 38%, mantequilla 28%, azúcar 18%, frambuesa 16%.	V
	Preparación liofilizada para arroz con leche con vainilla (AL)	Leche 78%, arroz 13%, azúcar 4%, azúcar vainillado 3%, mantequilla 2%.	V

D: Desayunos, A/C: Almuerzos/cenas, P: Postres, V: Vegetal, A: Animal

3.2. Reactivos, disoluciones y material

Para la determinación de metales en las muestras de comidas deshidratadas o liofilizadas analizadas, se utilizaron los reactivos, disoluciones y material que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Materiales, disoluciones y reactivos utilizados durante la realización de la parte experimental.

Reactivos y disoluciones
Ácido nítrico concentrado (65%) Sigma Aldrich (Steinheim, Alemania)
Disolución de ácido nítrico al 1,5%
Materiales
Cápsulas de porcelana Staatlich
Matraces aforados de 25mL
Varillas de vidrio
Pinzas
Pipetas pasteur
Vaso de precipitados
Papel de filtro Whatman 90mm

3.3. Aparatos e instrumentos

Los instrumentos y aparatos utilizados para la determinación de los metales en las muestras analizadas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Aparatos e instrumentación utilizada durante la realización de la parte experimental.

Aparatos
Balanza analítica METTLER TOLEDO PB 153-S (Barcelona, España)
Estufa J.P. Selecta (Barcelona, España)
Horno mufla Nabertherm® P 320 (Lilienthal, España)
Placa calefactora J.P. Selecta (Barcelona, España)

Instrumentación
Espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado Inductivamente (ICP-OES)
Thermo Scientific iCAP PRO (Waltham, USA)

3.4. Procedimiento experimental

Se realizaron análisis de muestras mediante un proceso estandarizado de preparación (10, 11). Inicialmente, se tomaron muestras de entre 20 y 30 gramos, en función de su disponibilidad, las cuales fueron colocadas en crisoles de porcelana y desecadas durante 24 horas a 80°C en una estufa. Luego, las muestras se sometieron a incineración en un horno mufla, con un aumento gradual de temperatura de 24 horas hasta alcanzar 400°C ± 25°C manteniendo esta temperatura durante 24 horas, con el fin de eliminar la materia orgánica. Las cenizas resultantes, de tono gris negruzco, indicaron la presencia de residuos orgánicos, por lo que se procedió a una segunda etapa de tratamiento.

En esta fase, se adicionó ácido nítrico concentrado a las muestras, que fueron luego desecadas en una placa calefactora. Posteriormente, las muestras se sometieron nuevamente a una temperatura de 400°C ± 25°C durante otras 24 horas, con una rampa de calentamiento de 12 horas y una estabilidad de 12 horas. Este proceso adicional aseguró la completa descomposición de la materia orgánica residual, resultando en cenizas de color blanco. Estas cenizas fueron disueltas y enrasadas con ácido nítrico al 1,5%, hasta alcanzar un volumen final de 25 mL.

La determinación de los metales en las muestras se realizó mediante ICP-OES. Este método aprovecha el plasma de acoplamiento inductivo (ICP) como fuente de ionización, combinado con un espectrofotómetro de emisión óptica (OES). Los resultados se

expresaron en mg/L y se recalcularon en mg/kg considerando el peso de la muestra y su dilución.

Como control de calidad del método se utilizó el material de referencia NIST1567B Harina de trigo (Sigma Aldrich, Alemania) para el Pb y Cd y, en el caso del Al se empleó el material de referencia SRM 1515 Apple Leaves (Sigma Aldrich, Alemania). El estudio de recuperación, sometiendo el material de referencia a las mismas condiciones que las muestras, dio valores de recuperación superiores al 97% en todos los casos.

Las longitudes de onda instrumentales (nm) fueron: Cd (228,8), Pb (283,3) y Al (167,0); los límites instrumentales de cuantificación (LOQ) del método fueron: Cd (0,013 mg/kg), Pb (0,040 mg/kg) y Al (0,012 mg/kg).

3.5. Evaluación de la exposición y caracterización del riesgo

Para la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo se han utilizado las siguientes formulas:

Ecuación 1: Ingesta de metal estimado en un periodo de un día.

$$Ingesta\ Diaria\ Estimada\ (IDE) = [Metal] \cdot Consumo\ diario\ de\ alimento$$

Ecuación 2: Porcentaje de contribución de la ingesta a la cantidad máxima tolerable para que suponga un riesgo.

$$\% \text{ Contribución} = \frac{IDE}{Ingesta\ Diaria\ Tolerable\ (IDT)}$$

Ecuación 3: Margen utilizado para la determinación de la seguridad de cualquier impureza genotóxica y carcinogénica.

$$Margen\ de\ Exposición\ (MOE) = \frac{BDML}{IDE}$$

Los valores estipulados como tolerables para cada uno de los analitos en estudio se detallan en la Tabla 5. Estos valores han sido obtenidos de los valores estipulados por las organizaciones como valores seguros de consumo.

Tabla 5. Valores de referencia de los metales analizados.

Analito	Efecto	Valor de referencia	Referencia
Aluminio		1 mg/Kg PC/sem	(12)
Cadmio		2,5 µg/Kg PC/sem	(13)
Plomo	Cardiovascular	1,5 µg/Kg PC/día	(14)
	Nefrotóxico	0,63 µg/Kg PC/día	(14)
	Neurotoxicidad en el desarrollo	0,5 µg/Kg PC/día	(14)

Las raciones de cada una de las muestras utilizadas para la presentación de los resultados fueron determinadas según las recomendaciones del fabricante, consideradas adecuadas para una persona. Estas porciones están detalladas en la Tabla 6, abarcando un rango que va desde los 45g hasta los 120g.

Tabla 6. Raciones utilizadas para la presentación de los resultados.

Alimento	MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL
Raciones (g)	100	100	100	100	120	120	120	45	50	45

Las diluciones aplicadas en todas las muestras analizadas correspondieron a un volumen de 25mL, conforme a lo estipulado en el procedimiento experimental previamente descrito.

4. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la determinación de metales tóxicos en diversas muestras de alimentos liofilizados o deshidratados utilizados en actividades de camping. Los análisis se llevaron siguiendo los procedimientos descritos en el apartado de procedimiento experimental.

4.1. Concentraciones de metales tóxicos

Los datos presentados en la Tabla 7 proporcionan una visión detallada de las concentraciones de Al encontradas en diferentes muestras de alimentos, así como sus desviaciones típicas, valores máximos y mínimos.

Tabla 7. Concentraciones determinadas de Al en las muestras estudiadas.

Alimento	Concentraciones de Aluminio (mg/kg)	Desviación Típica	Máximo	Mínimo
MP	1,242	0,072	1,308	1,165
MFR	0,654	0,082	0,733	0,568
MC	2,723	0,100	2,793	2,609
SV	1,578	0,106	1,676	1,466
QL	1,665	0,762	2,517	1,050
PC	2,082	0,130	2,214	1,954
PB	0,759	0,083	0,830	0,668
SVERD	1,264	0,037	1,307	1,238
CF	0,936	0,222	1,192	0,805
AL	0,099	0,001	0,100	0,098

Las concentraciones de Al varían significativamente, con algunos alimentos mostrando niveles altos. Por ejemplo, la muestra MC presenta una concentración de 2,723 mg/kg, lo que es preocupante. De manera similar, las muestras MP y PC también exhiben concentraciones elevadas de Al, con 1,242 mg/kg y 2,082 mg/kg respectivamente.

En contraste, otras muestras como AL muestran concentraciones de Al significativamente más bajas, con un promedio de 0,099 mg/kg, lo cual es ideal para minimizar los riesgos para la salud. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) reporta que la mayoría de los alimentos no procesados contienen menos de 5 mg/kg por lo que se puede decir que estos productos se encuentran dentro de estos márgenes (12).

Las concentraciones de Cd halladas en las diferentes muestras analizadas se detallan en la Tabla 8. En general, son relativamente bajas, oscilando entre 0,005 mg/kg y 0,015 mg/kg, con desviaciones típicas igualmente bajas, lo que indica una consistencia en las mediciones y una baja variabilidad entre las muestras. Estos valores se encuentran por debajo de los valores medios encontrados en Europa (15).

Tabla 8. Concentraciones determinadas de Cd en las muestras estudiadas.

Alimento	Concentraciones de Cadmio (mg/kg)	Desviación Típica	Máximo	Mínimo
MP	0,011	0,003	0,015	0,009
MFR	0,008	0,001	0,009	0,007
MC	0,013	0,001	0,013	0,012
SV	0,006	0,000	0,006	0,005
QL	0,009	0,001	0,010	0,008
PC	0,011	0,003	0,013	0,008
PB	0,007	0,000	0,008	0,007
SVERD	0,014	0,000	0,015	0,014
CF	0,012	0,001	0,012	0,011
AL	0,007	0,000	0,008	0,007

Los resultados presentados en la Tabla 9 indican que las concentraciones de Pb en los alimentos liofilizados o deshidratados para camping son significativamente bajas, oscilando entre 0,002 mg/kg y 0,006 mg/kg, comparado con la mediana general de Pb en todos los alimentos según la EFSA, que es de 0,0214 mg/kg, con niveles específicos mucho más altos en ciertos alimentos (16).

Tabla 9. Concentraciones determinadas de Pb en las muestras estudiadas.

Alimento	Concentraciones de Plomo (mg/kg)	Desviación Típica	Máximo	Mínimo
MP	0,004	0,000	0,004	0,003
MFR	0,004	0,001	0,005	0,003
MC	0,005	0,001	0,006	0,004
SV	0,004	0,001	0,005	0,003
QL	0,004	0,001	0,006	0,003
PC	0,003	0,000	0,003	0,003
PB	0,003	0,000	0,003	0,002
SVERD	0,004	0,000	0,004	0,003
CF	0,003	0,002	0,005	0,001
AL	0,002	0,000	0,002	0,002

Además, las muestras se agruparon tanto por tipo de alimento (desayuno, almuerzo/cena y postres) como por su origen (animal y vegetal). A continuación, se presentan las concentraciones determinadas de estos metales según el tipo de alimento (Tabla 10) y su origen (Tabla 11).

Tabla 10. Concentraciones de metales según el tipo de alimento.

	Desayuno	Almuerzo/Cena	Postre
Concentración de Aluminio (mg/Kg)			
Promedio	1,540	1,470	0,517
Desviación Típica	1,066	0,493	0,592
Máximo	2,723	2,082	0,936
Mínimo	0,654	0,759	0,099
Concentración de Cadmio (mg/Kg)			
Promedio	0,010	0,009	0,009
Desviación Típica	0,002	0,003	0,003
Máximo	0,013	0,014	0,012
Mínimo	0,008	0,006	0,007
Concentración de Plomo (mg/Kg)			
Promedio	0,004	0,004	0,003
Desviación Típica	0,001	0,000	0,001
Máximo	0,005	0,004	0,003
Mínimo	0,004	0,003	0,002

Se observa que los alimentos destinados a desayuno presentan concentraciones promedio de Al ligeramente superiores (1,540 mg/kg) en comparación con los alimentos de almuerzo/cena (1,470 mg/kg) y significativamente más altas que los postres (0,517 mg/kg). Esta variabilidad puede ser atribuida a las diferencias en los procesos de liofilización y envasado, así como en la naturaleza del alimento mismo.

Las concentraciones promedio de Cd son similares en alimentos de almuerzo/cena (0,009 mg/kg), desayuno (0,010 mg/kg) y postres (0,009 mg/kg).

Las concentraciones de Pb muestran valores muy bajos en todos los tipos de alimentos, con promedios de 0,004 mg/kg para desayuno y almuerzo/cena, y 0,003 mg/kg para postres.

Tabla 11. Concentraciones de metales tóxicos según el origen del alimento.

	Animal	Vegetal
Concentración de Aluminio (mg/kg)		
Promedio	1,420	1,270
Desviación Típica	0,935	0,777
Máximo	2,082	2,723
Mínimo	0,759	0,099
Concentración de Cadmio (mg/kg)		
Promedio	0,009	0,010
Desviación Típica	0,002	0,003
Máximo	0,011	0,014
Mínimo	0,007	0,006
Concentración de Plomo (mg/kg)		
Promedio	0,003	0,004
Desviación Típica	0,000	0,001
Máximo	0,003	0,005
Mínimo	0,003	0,002

En términos de origen, los alimentos de origen animal muestran concentraciones ligeramente superiores de Al (1,420 mg/kg) en comparación con los de origen vegetal (1,270 mg/kg). Esta variabilidad puede estar relacionada con la diferente capacidad de absorción y retención de Al entre los alimentos de origen animal y vegetal.

Al contrario, se encuentran los promedios de Cd y Pb donde los alimentos vegetales presentan una concentración ligeramente superior (0,010 mg/kg y 0,004 mg/kg) comparado con los de origen animal (0,009 mg/kg y 0,003 mg/kg).

4.2. Evaluación de la exposición

Para el cálculo de las IDE han sido utilizadas las raciones recomendadas por el fabricante para cada uno de los alimentos estudiados, y ya descritas anteriormente en la Tabla 6, solo teniendo en cuenta el consumo de estos alimentos.

Las IDE de los tres metales tóxicos, para cada una de las muestras se describen detalladamente en la Tabla 12. Esta tabla proporciona una visión cuantitativa de la concentración diaria de estos metales en diferentes muestras analizadas, expresadas en miligramos por día (mg/día).

Tabla 12. Cálculo de las Ingestas Diarias Estimadas de las muestras analizadas.

Muestras	Concentración de Aluminio (mg/día)	Concentración de Cadmio (mg/día)	Concentración de Plomo (mg/día)
MP	0,1242	0,0011	0,0004
MFR	0,0654	0,0008	0,0004
MC	0,2723	0,0013	0,0005
SV	0,1578	0,0006	0,0004
QL	0,1998	0,0011	0,0005
PC	0,2498	0,0013	0,0004
PB	0,0911	0,0009	0,0004
SVERD	0,0569	0,0006	0,0002
CF	0,0468	0,0006	0,0002
AL	0,0045	0,0003	0,0001

Esta tabla es crucial para evaluar la exposición a metales tóxicos a través de la dieta, permitiendo identificar las muestras que presentan mayores concentraciones de estos metales y, por ende, pueden representar un riesgo mayor para la salud. Además, la Tabla 13 proporciona un análisis detallado de las IDE de Al, Cd y Pb según su tipo y origen.

Tabla 13. Cálculo de las Ingestas Diarias Estimadas de las muestras según tipo y origen.

	Tipo			Origen	
	Desayuno	Almuerzo/Cena	Postre	Animal	Vegetal
Concentración de Aluminio (mg/día)	0,1540	0,1511	0,0256	0,1704	0,1160
Concentración de Cadmio (mg/día)	0,0010	0,0009	0,0004	0,0011	0,0008
Concentración de Plomo (mg/día)	0,0004	0,0004	0,0001	0,0004	0,0003

Los resultados sugieren que los alimentos consumidos durante el desayuno y aquellos de origen animal son los que presentan mayores concentraciones de metales tóxicos, especialmente Al, pero es necesario realizar una evaluación del riesgo para poder confirmar estas afirmaciones.

4.3. Caracterización del riesgo

En este apartado se comentarán los resultados obtenidos haciendo uso de los porcentajes de contribución para el Al y Cd, y del Margen de Exposición (MOE) para el estudio del Pb.

La Tabla 14, muestra la evaluación del riesgo del contenido de Al en las muestras analizadas, según su tipo y su origen, indicando el porcentaje de contribución a la Ingesta Semanal Estimada (ISE) para diferentes grupos de edad y sexo, en los que se especifica el peso medio (kg) y la Ingesta Semanal Tolerable (IST) de Al (mg/sem), que sirve de base para calcular el porcentaje de contribución.

La tabla indica que las muestras MP, MC, SV, QL, PC y PB presentan porcentajes de contribución superiores al 10% en varios grupos de edad, lo que implica un posible riesgo toxicológico, pero ninguna de las muestras analizadas supera el 50% de contribución por lo que no supondría un riesgo toxicológico para la población el consumo de este alimento por el consumo de aluminio.

El consumo de Al en los alimentos de desayuno y almuerzo/cena superan el 10% en los más jóvenes (0-3 meses, 3-6 meses, 6-12 meses). Esto sugiere que estos alimentos son una fuente de exposición al Al, especialmente en los niños pequeños, y pueden representar un posible riesgo para la salud. En contraste, los postres no suponen un riesgo en términos de contribución al consumo de Al.

Los alimentos de origen animal presentan porcentajes de contribución más altos que los de origen vegetal, superando el 10% en los grupos más jóvenes (0-3 meses, 3-6 meses, 6-12 meses y 1-3 años), lo que sugiere un posible riesgo toxicológico. Para los grupos de mayor edad, los porcentajes disminuyen considerablemente no suponiendo un riesgo.

Tabla 14. Evaluación del riesgo del contenido de aluminio en las muestras analizadas, según su tipo y origen.

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	IST (mg/sem)	Porcentaje de Contribución														
				TIPO												ORIGEN		
				MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL	D	A/C	P	A	V
Ind.	0-3 meses	4,8	4,8	18,1	9,5	39,7	23,0	29,1	36,4	13,3	8,3	6,8	0,7	22,5	22,0	3,7	24,9	16,9
	3-6 meses	6,7	6,7	13,0	6,8	28,5	16,5	20,9	26,1	9,5	5,9	4,9	0,5	16,1	15,8	2,7	17,8	12,1
	6-12 meses	8,8	8,8	9,9	5,2	21,7	12,6	15,9	19,9	7,2	4,5	3,7	0,4	12,2	12,0	2,0	13,6	9,2
Ind.	1-3 años	11,9	11,9	7,3	3,8	16,0	9,3	11,8	14,7	5,4	3,4	2,8	0,3	9,1	8,9	1,5	10,0	6,8
	3-10 años	23,1	23,1	3,8	2,0	8,3	4,8	6,1	7,6	2,8	1,7	1,4	0,1	4,7	4,6	0,8	5,2	3,5
Ind.	10-14 años	43,4	43,4	2,0	1,1	4,4	2,6	3,2	4,0	1,5	0,9	0,8	0,1	2,5	2,4	0,4	2,8	1,9
	14-18 años	61,3	61,3	1,4	0,8	3,1	1,8	2,3	2,9	1,0	0,7	0,5	0,1	1,8	1,7	0,3	2,0	1,3
Mujeres		67,2	67,2	1,3	0,9	2,8	1,6	2,1	2,6	1,0	0,6	0,5	0,1	1,6	1,6	0,3	1,7	1,2
Hombres	18-64 años	82,0	82	1,1	0,6	2,3	1,4	1,7	2,1	0,8	0,5	0,4	0,04	1,3	1,3	0,2	1,5	1,0
Ambos		73,9	73,9	1,2	0,6	2,6	1,5	1,9	2,4	0,9	0,5	0,4	0,04	1,5	1,4	0,2	1,6	1,1
Mujeres		70,6	70,6	1,2	0,7	2,7	1,6	2,0	2,5	0,9	0,6	0,5	0,04	1,5	1,5	0,3	1,7	1,2
Hombres	65-75 años	82,2	82,2	1,1	0,6	2,3	1,3	1,7	2,1	0,8	0,5	0,4	0,04	1,3	1,3	0,2	1,5	1,0
Ambos		76,0	76	1,1	0,6	2,5	1,5	1,8	2,3	0,8	0,5	0,4	0,04	1,4	1,4	0,2	1,6	1,1
Mujeres		66,4	66,4	1,3	0,7	2,9	1,7	2,1	2,7	1,0	0,6	0,5	0,1	1,6	1,6	0,3	1,8	1,2
Hombres	> 75 años	77,1	77,1	1,1	0,6	2,5	1,4	1,8	2,3	0,8	0,5	0,4	0,04	1,4	1,4	0,2	1,6	1,2
Ambos		71,2	71,2	1,2	0,6	2,7	1,6	2,0	2,5	0,9	0,6	0,5	0,04	1,5	1,5	0,3	1,7	1,1

A continuación, se presenta la Tabla 15, que evalúa el riesgo del contenido de cadmio en diversas muestras. La tabla especifica los porcentajes de contribución a la ISE de Cd para diferentes grupos de edad y sexo.

Se puede observar que varias muestras superan el umbral del 10% en múltiples grupos de edad, lo que indica un posible riesgo toxicológico. En los grupos de 0-3 meses y 3-6 meses, los porcentajes de contribución superan el 50% en muchas muestras, señalando un riesgo toxicológico por el consumo de estos alimentos. En los adultos y personas mayores, los porcentajes disminuyen de forma significativa no suponiendo riesgo.

Los alimentos consumidos durante el desayuno y el almuerzo/cena tienen porcentajes de contribución superiores al 10% en los grupos de edad inferiores a los 10 años, indicando un posible riesgo toxicológico. En el grupo más joven (0-3 meses) los porcentajes superan el 50%, lo que sugiere un riesgo toxicológico. Los postres presentan contribuciones menores, pero con posibles riesgos en los menores de 3 años.

Al igual que con el Al, la tabla indica que los alimentos de origen animal presentan porcentajes de contribución más altos que los de origen vegetal. En los grupos de edad más jóvenes, los porcentajes para los alimentos de origen animal superan el 50%, indicando un riesgo toxicológico claro. Para los grupos de mayor edad, los porcentajes disminuyen, pero aún indican un posible riesgo, ya que superan el 10% hasta los 10 años.

Tabla 15. Evaluación del riesgo del contenido de cadmio en las muestras, según su tipo y origen.

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	IST (µg/sem)	Porcentaje de Contribución														
				TIPO												ORIGEN		
				MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL	D	A/C	P	A	V
Ind.	0-3 meses	4,8	12	64,8	45,4	72,9	32,4	62,2	75,8	52,5	37,9	34,0	18,2	61,0	52,2	26,1	64,2	46,0
	3-6 meses	6,7	16,8	46,4	32,5	52,2	23,2	44,6	54,3	37,6	27,2	24,4	13,1	43,7	37,4	18,7	46,0	33,0
	6-12 meses	8,8	22	35,4	24,8	39,8	17,7	33,9	41,4	28,6	20,7	18,6	9,9	33,3	28,5	14,3	35,0	25,1
Ind.	1-3 años	11,9	29,8	26,2	18,3	29,4	13,1	25,1	30,6	21,2	15,3	13,7	7,4	24,6	21,1	10,5	25,9	18,6
	3-10 años	23,1	57,8	13,5	9,4	15,2	6,7	12,9	15,8	10,9	7,9	7,1	3,8	12,7	10,8	5,4	13,3	9,6
Ind.	10-14 años	43,4	108,5	7,2	5,0	8,1	3,6	6,9	8,4	5,8	4,2	3,8	2,0	6,8	5,8	2,9	7,1	5,1
	14-18 años	61,3	153,3	5,1	3,6	5,7	2,5	4,9	5,9	4,1	3,0	2,7	1,4	4,8	4,1	2,0	5,0	3,6
Mujeres	18-64 años	67,2	168	4,6	3,2	5,2	2,3	4,4	5,4	3,8	2,7	2,4	1,3	4,4	3,7	1,9	4,6	3,3
Hombres		82,0	205	3,8	2,7	4,3	1,9	3,6	4,4	3,1	2,2	2,0	1,1	3,6	3,1	1,5	3,8	2,7
Ambos		73,9	184,8	4,2	3,0	4,7	2,1	4,0	4,9	3,4	2,5	2,2	1,2	4,0	3,4	1,7	4,2	3,0
Mujeres	65-75 años	70,6	176,5	4,4	3,1	5,0	2,2	4,2	5,2	3,6	2,6	2,3	1,2	4,1	3,6	1,8	4,4	3,1
Hombres		82,2	205,5	3,8	2,7	4,3	1,9	3,6	4,4	3,1	2,2	2,0	1,1	3,6	3,1	1,5	3,8	2,7
Ambos		76,0	190	4,1	2,9	4,6	2,1	3,9	4,8	3,3	2,4	2,2	1,2	3,9	3,3	1,7	4,1	2,9
Mujeres	> 75 años	66,4	166	4,7	3,3	5,3	2,3	4,5	5,5	3,8	2,7	2,5	1,3	4,4	3,8	1,9	4,6	3,3
Hombres		77,1	192,8	4,0	2,8	4,5	2,0	3,9	4,7	3,3	2,4	2,1	1,1	3,8	3,3	1,6	4,0	2,9
Ambos		71,2	178	4,4	3,1	4,9	2,2	4,2	5,1	3,5	2,6	2,3	1,2	4,1	3,5	1,8	4,3	3,1

Finalizando, se expone una evaluación detallada del riesgo asociado a la ingesta de plomo en diversas muestras alimenticias, enfocándose en tres efectos diferenciados: cardiovascular, nefrotóxico y neurotóxico. El riesgo se evalúa utilizando el MOE, donde un valor bajo del MOE indica un mayor riesgo. En particular, un MOE menor de 1 indica un riesgo toxicológico, un MOE entre 1 y 10 sugiere un posible riesgo, y un MOE superior a 10 se considera seguro. Cada tabla analiza estos efectos en función del tipo y origen de los alimentos, proporcionando una visión integral del riesgo de exposición al plomo. El Benchmark dose lower limit (BDML) se utiliza como referencia para calcular el MOE.

La Tabla 16 que se muestra a continuación evalúa el riesgo cardiovascular asociado al contenido de plomo en las diferentes muestras de alimentos.

Tabla 16. Evaluación del riesgo cardiovascular por el contenido de plomo en las muestras, según su tipo y origen.

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	BDML (µg/día)	MOE														
				MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL	D	A/C	P	A	V
Ind.	0-3 meses	4,8	7,2	20	19	14	17	14	18	20	44	43	82	17	20	57	19	22
	3-6 meses	6,7	10,05	28	26	20	24	20	25	27	62	60	115	24	27	79	26	31
	6-12 meses	8,8	13,2	37	34	26	32	26	33	36	81	79	151	32	36	104	34	41
Ind.	1-3 años	11,9	17,85	49	46	36	43	36	45	49	110	107	204	43	48	140	47	55
	3-10 años	23,1	34,65	96	89	69	83	69	87	95	213	208	396	83	94	273	90	107
Ind.	10-14 años	43,4	65,1	180	167	130	156	130	163	178	401	391	744	156	176	512	170	202
	14-18 años	61,3	91,95	255	236	184	221	184	230	251	566	552	1051	221	249	724	240	285
Mujer	18-64 años	67,2	100,8	279	259	202	242	202	252	275	620	605	1152	242	273	793	263	312
Hombres		82,0	123	341	316	246	295	246	307	335	757	738	1406	295	333	968	321	381
Ambos		73,9	110,85	307	285	222	266	222	277	302	682	665	1267	266	300	872	289	343
Mujer	65-75 años	70,6	105,9	293	272	212	254	212	265	289	652	636	1210	254	287	833	276	328
Hombres		82,2	123,3	341	317	247	296	247	308	336	759	740	1409	296	334	970	322	382
Ambos		76,0	114	316	293	228	274	228	285	311	702	684	1303	274	309	897	297	353
Mujer	> 75 años	66,4	99,6	276	256	199	239	199	249	272	613	598	1138	239	270	784	260	308
Hombres		77,1	115,65	320	297	231	278	231	289	315	712	694	1322	278	313	910	302	358
Ambos		71,2	106,8	296	275	214	256	214	267	291	657	641	1221	256	289	840	279	331

La tabla indica que no existe riesgo para ninguno de los grupos de edad en estudio por lo que los alimentos se consideran seguros para el riesgo cardiovascular por el contenido de plomo.

En la Tabla 17, se observa al igual que en la Tabla 16, una evaluación del riesgo en este caso nefrotóxico asociado al contenido de plomo en las diferentes muestras alimenticias.

Tabla 17. Evaluación del riesgo nefrotóxico por el contenido de plomo en las muestras, según su tipo y origen.

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	BDML (µg/día)	MOE														
				MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL	D	A/C	P	A	V
Ind.	0-3 meses	4,8	3,0	8	8	6	7	6	8	8	19	18	35	7	8	24	8	9
	3-6 meses	6,7	4,2	12	11	8	10	8	11	12	26	25	48	10	11	33	11	13
	6-12 meses	8,8	5,5	15	14	11	13	11	14	15	34	33	63	13	15	44	14	17
Ind.	1-3 años	11,9	7,5	21	19	15	18	15	19	20	46	45	86	18	20	59	20	23
	3-10 años	23,1	14,6	40	37	29	35	29	36	40	90	87	166	35	39	115	38	45
Ind.	10-14 años	43,4	27,3	76	70	55	66	55	68	75	168	164	312	66	74	215	71	85
	14-18 años	61,3	38,6	107	99	77	93	77	97	105	238	232	441	93	105	304	101	120
Mujer	18-64 años	67,2	42,3	117	109	85	102	85	106	115	261	254	484	102	115	333	110	131
Hombres		82,0	51,7	143	133	103	124	103	129	141	318	310	590	124	140	407	135	160
Ambos		73,9	46,6	129	120	93	112	93	116	127	287	279	532	112	126	366	121	144
Mujer	65-75 años	70,6	44,5	123	114	89	107	89	111	121	274	267	508	107	120	350	116	138
Hombres		82,2	51,8	143	133	104	124	104	129	141	319	311	592	124	140	408	135	160
Ambos		76,0	47,9	133	123	96	115	96	120	131	295	287	547	115	130	377	125	148
Mujer	> 75 años	66,4	41,8	116	108	84	100	84	105	114	257	251	478	100	113	329	109	130
Hombres		77,1	48,6	135	125	97	117	97	121	132	299	291	555	117	132	382	127	150
Ambos		71,2	44,9	124	115	90	108	90	112	122	276	269	513	108	122	353	117	139

La tabla muestra que para los más jóvenes (0-3 meses), los MOE para las todas las muestras excepto para SVERD, CF y AL, se encuentran por debajo de 10, indicando un posible riesgo nefrotóxico. En los grupos de edad más avanzados, los MOE aumentan. Además, se puede observar que los alimentos de origen vegetal generalmente presentan MOE más altos, indicando un menor riesgo en comparación con los de origen animal.

A continuación, se muestra la Tabla 18, la cual analiza el riesgo neurotóxico asociado al contenido de plomo en diferentes muestras alimenticias. La tabla clasifica los alimentos según su tipo y su origen, utilizando el MOE y el BDML como referencia para evaluar el riesgo al igual que con el resto de los riesgos asociados la contenido de plomo.

Tabla 18. Evaluación del riesgo de neurotoxicidad en el desarrollo por el contenido de plomo en las muestras, según su tipo y origen.

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	BDML (µg/día)	MOE														
				MP	MFR	MC	SV	QL	PC	PB	SVERD	CF	AL	D	A/C	P	ORIGEN	
																	A	V
Ind.	0-3 meses	4,8	2,4	7	6	5	6	5	6	7	15	14	27	6	7	19	6	7
	3-6 meses	6,7	3,4	9	9	7	8	7	8	9	21	20	38	8	9	26	9	10
	6-12 meses	8,8	4,4	12	11	9	11	9	11	12	27	26	50	11	12	35	11	14
Ind.	1-3 años	11,9	6,0	16	15	12	14	12	15	16	37	36	68	14	16	47	16	18
	3-10 años	23,1	11,6	32	30	23	28	23	29	32	71	69	132	28	31	91	30	36
Ind.	10-14 años	43,4	21,7	60	56	43	52	43	54	59	134	130	248	52	59	171	57	67
	14-18 años	61,3	30,7	85	79	61	74	61	77	84	189	184	350	74	83	241	80	95
Mujer		67,2	33,6	93	86	67	81	67	84	92	207	202	384	81	91	264	88	104
Hombres	18-64 años	82,0	41,0	114	105	82	98	82	102	112	252	246	469	98	111	323	107	127
Ambos		73,9	37,0	102	95	74	89	74	92	101	227	222	422	89	100	291	96	114
Mujer		70,6	35,3	98	91	71	85	71	88	96	217	212	403	85	96	278	92	109
Hombres	65-75 años	82,2	41,1	114	106	82	99	82	103	112	253	247	470	99	111	323	107	127
Ambos		76,0	38,0	105	98	76	91	76	95	104	234	228	434	91	103	299	99	118
Mujer		66,4	33,2	92	85	66	80	66	83	91	204	199	379	80	90	261	87	103
Hombres	> 75 años	77,1	38,6	107	99	77	93	77	96	105	237	231	441	93	104	303	101	119
Ambos		71,2	35,6	99	92	71	85	71	89	97	219	214	407	85	96	280	93	110

En la tabla se observa que los MOE para los efectos neurotóxicos del plomo en los más jóvenes no suponen riesgo, pero son bajos, con muchas muestras registrando valores por debajo de 10, lo que indica un posible riesgo toxicológico. En comparación, los alimentos de origen vegetal presentan generalmente MOE más altos frente a los de origen animal, sugiriendo un menor riesgo neurotóxico por el contenido de este metal.

4.4. Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones del estudio incluyen el tamaño reducido (10 muestras) y la selección de muestras, que se limitaron a una sola marca y ubicación geográfica, lo cual puede no ser representativo de todos los productos en el mercado. Además, se analizaron solo tres metales tóxicos, dejando fuera otros posibles contaminantes. La variabilidad en la concentración de metales entre distintos tipos de alimentos y entre productos de origen vegetal y animal añade complejidad a la generalización de los resultados dando importancia a los ingredientes de cada una de las muestras. Finalmente, aunque los métodos analíticos utilizados son precisos, siempre existe la posibilidad de errores en el proceso, y los resultados reflejan solo un punto en el tiempo, sin considerar variaciones futuras debido a lo específico de este trabajo que podría continuar para poder realizar nuevos estudios con un mayor número de datos.

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este TFM, se puede concluir lo siguiente:

- › El Al ha presentado concentraciones máximas de 2,723 mg/kg, lo cual es preocupante al tratarse de un metal tóxico.
- › Las concentraciones de Cd fueron relativamente bajas en comparación con el Al, variando entre 0,005 mg/kg y 0,015 mg/kg, pero aun así representan un riesgo potencial debido a los efectos acumulativos.
- › Las concentraciones de Pb oscilaron entre 0,002 mg/kg y 0,006 mg/kg, indicando un buen control en los procesos de producción para minimizar la contaminación por este metal.
- › Los alimentos de desayuno y almuerzo/cena presentaron contribuciones significativas en el grupo de edad más joven, sugiriendo un posible riesgo toxicológico.
- › Se ha observado que los alimentos de origen animal tienden a tener mayores concentraciones de Al en comparación con los de origen vegetal. El Cd y el Pb también presentaron esta tendencia, aunque en menor medida.
- › A pesar de que las concentraciones encontradas no superan los límites establecidos, el consumo a largo plazo y la acumulación de estos metales pueden representar riesgos significativos para la salud pública, especialmente en poblaciones vulnerables como los niños.

Las expectativas que se derivan de este trabajo, con base a los resultados obtenidos, sea el impulso a las empresas de alimentos liofilizados y deshidratados a revisar y mejorar sus procesos de producción para reducir la presencia de metales tóxicos en sus productos y contribuir a la elaboración y actualización de normativas más estrictas sobre los niveles permitidos de metales tóxicos en alimentos, promoviendo una mayor seguridad alimentaria.

Abreviaturas

A	Animal
A/C	Almuerzo/cena
Al	Aluminio
AL	Preparación liofilizada para arroz con leche con vainilla
BDML	Benchmark dose lower limit
Cd	Cadmio
CF	Preparación liofilizada para crumble de frambuesa
D	Desayuno
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
ICP	Plasma de acoplamiento inductivo
ICP-OES	Espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente
IDE	Ingesta diaria estimada
IDT	Ingesta diaria tolerable
ISE	Ingesta semanal estimada
IST	Ingesta semanal tolerable
LOQ	Límite de cuantificación
MC	Preparación deshidratada para muesli con chocolate
MFR	Preparación liofilizada para muesli con frutos rojos
MOE	Margen de exposición
MP	Preparación deshidratada para muesli con uvas
OES	Espectrofotómetro de emisión óptica
P	Postres
Pb	Plomo
PB	Preparación deshidratada para pastas a la boloñesa con carne de buey y queso liofilizados
PC	Preparación deshidratada para arroz y pollo (liofilizado) la curry
QL	Preparación deshidratada para quinoa y leguminosas
SV	Preparación para sémola vegetariana con verduras liofilizadas orgánicas

Abreviaturas

SVERD	Preparación liofilizada para sopa vegetariana de tomate con pimientos y pastas
TFM	Trabajo Fin de Máster
V	Vegetal

Referencias

- (1) Garcia-Amezquita, L. E., Welte-Chanes, J., Vergara-Balderas, F. T., & Bermúdez-Aguirre, D. (2015). Freeze-drying: The Basic Process. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 104–109). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00328-7>
- (2) Mujumdar, A. S., Law, C. L., & Woo, M. W. (2015). Freeze Drying: Effects on Sensory and Nutritional Properties. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 99–103). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00327-5>
- (3) Barregdrd, L., Svalander, C., Schttz, A., Westberg, G., Salisten, G., Blohme, I., Mdine, J., Afiman, P.-O., & Hagiind6, P. (1999). Cadmium, mercury, and lead in kidney cortex of the general Swedish population: a study of biopsies from living kidney donors.
- (4) Ybañez, N., & Montoro, R. (1996). Trace Element Food Toxicology: An Old and Ever-Growing Discipline. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(4), 299–320. <https://doi.org/10.1080/10408399609527727>
- (5) *Aesan - Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición* (n.d.). Revisado el 30 de Junio de 2024, https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/metales_pesados.htm
- (6) Llopis, L. S., & Ballester Díez, F. (2002). REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y ENFERMEDAD DE ALZHEIMER. *Rev Esp Salud Pública*, 76(6), 645-658.
- (7) Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. 16, 66–77.
- (8) Singh, J., Upadhyay, S. K., Pathak, R. K., & Gupta, V. (2011). Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (*Oryza sativa*), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93(3), 462–473. <https://doi.org/10.1080/02772248.2010.546559>
- (9) Al-Massaedh, “Ayat Allah,” Gharaibeh, A., Radaydeh, S., & Al-Momani, I. (2018). Assessment of toxic and essential heavy metals in imported dried fruits sold in the local markets of Jordan. *European Journal of Chemistry*, 9(4), 394–399. <https://doi.org/10.5155/eurjchem.9.4.394-399.1800>

- (10) González-Suárez, S., Paz-Montelongo, S., Niebla-Canelo, D., Alejandro-Vega, S., González-Weller, D., Rubio-Armendáriz, C., Hardisson, A., & Gutiérrez-Fernández, Á. J. (2022). Baby Food Jars as a Dietary Source of Essential (K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Co, Mo, Mn) and Toxic Elements (Al, Cd, Pb, B, Ba, V, Sr, Li, Ni). *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/app12168044>
- (11) Bethencourt-Barbuzano, E., González-Weller, D., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Hardisson, A., Carrascosa, C., Cámara, M., & Rubio-Armendáriz, C. (2023). Whey Protein Dietary Supplements: Metal Exposure Assessment and Risk Characterization. *Nutrients*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/nu15163543>
- (12) Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC) (2008). *EFSA Journal*, 6(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.754>
- (13) Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (2009). *EFSA Journal*, 7(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>
- (14) Scientific Opinion on Lead in Food (2010). *EFSA Journal*, 8(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- (15) Cadmium dietary exposure in the European population (2012). *EFSA Journal*, 10(1). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>
- (16) Lead dietary exposure in the European population (2012). *EFSA Journal*, 10(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>