

Máster en Seguridad y Calidad de los Alimentos

TRABAJO FIN DE MÁSTER

METALES EN SUPLEMENTOS PROTEICOS: EXPOSICIÓN DIETÉTICA Y CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

METALS IN PROTEIN SUPPLEMENTS: DIETARY EXPOSURE AND
RISK CHARACTERIZATION

SARA TORRES PADRÓN

Tutor/a: Dra. María del Carmen Rubio Armendáriz

Área de conocimiento: Toxicología

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

Curso 2022-2023 (Julio)

A Pablo,
Por alegrar mis días.

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. <i>El análisis del riesgo en Seguridad Alimentaria</i>	12
1.1.1. El cobre	14
1.1.2. El cadmio	15
2. OBJETIVOS	17
3. MATERIAL Y MÉTODO	18
3.1. <i>Muestreo</i>	18
3.2. <i>Tratamiento de las muestras</i>	20
3.3. <i>Determinación de Cu y Cd</i>	21
3.4. <i>Estimación de la exposición a Cu y Cd y caracterización del nutricional y del riesgo</i>	22
3.5. <i>Análisis estadístico</i>	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5. CONCLUSIONES	30
ANEXO I	31
6. BIBLIOGRAFÍA	33

RESUMEN

El consumo de suplementos proteicos (SP) sigue extendiéndose y diversificándose y sus consumidores ya no son sólo deportistas. Además de proteínas, estos productos suelen contener otros componentes minoritarios no indicados, normalmente, en el etiquetado. Entre sus riesgos, se identificó algunos contaminantes, como metales pesados. Es por ello por lo que, la evaluación nutricional debe de acompañarse del análisis de riesgos. Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene por objetivo principal caracterizar el riesgo derivado de la exposición dietética a un micronutriente, el cobre, y a un metal tóxico, el cadmio, a partir del consumo, en distintos escenarios, de suplementos proteicos. Para realizar este estudio, se adquirieron 32 muestras de SP de origen europeo y formulados con proteínas procedentes de diferentes fuentes, tanto animales como vegetales. Los niveles de Cu y Cd fueron analizados por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), tras una mineralización por incineración. Tras la caracterización del riesgo, se concluye que el consumo de estos SP siguiendo el consumo recomendado en la mayoría de los envases (30 g/día) no generaría efectos negativos sobre la salud, si bien en consumidores diarios debe de considerarse esta fuente dietética al estimarse la ingesta total de estos dos metales.

ABSTRACT

The consumption of protein supplements (SP) is spreading and diversifying, and its consumers are no longer just athletes. In addition to proteins, they usually contain other minority components normally not indicated on the label. Among its risks, some contaminants, such as heavy metals, were identified. That is why the nutritional evaluation must be accompanied by a risk analysis. The main objective of this Master's Thesis (TFM) is to characterize the risk derived from dietary exposure to a micronutrient, copper, and a toxic metal, cadmium, from the consumption of protein supplements in different scenarios. To carry out this study, 32 samples of PS of European origin and formulated with proteins from different sources, both animal and vegetable, were acquired. Cu and Cd levels were analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) after mineralization by incineration. After the risk characterization, it is concluded that the consumption of these PS following the recommended consumption in most containers (30 g / day) would not generate negative effects on health, although in daily consumers this dietary source should be considered when estimating the total intake of these two metals.

1. INTRODUCCIÓN

Los suplementos deportivos están dirigidos principalmente a los atletas para mejorar la ingesta de nutrientes, el rendimiento y el crecimiento muscular (Kårlund et al., 2019). Un suplemento deportivo es un producto que se toma de manera oral, se le supone un efecto fisiológico y/o nutricional y su regulación es común a la de otros productos alimenticios.

A través del uso de cuestionarios, entrevistas o registros dietéticos se ha podido determinar que la prevalencia del uso de suplementos deportivos es muy elevada, tanto en hombres como en mujeres deportistas, situándose entre el 28% y el 100%. Para un mismo nivel deportivo, los hombres usan más suplementos deportivos con el objetivo de incrementar la fuerza y la masa muscular (especialmente creatina), mientras que las mujeres suelen usar más vitaminas y minerales (especialmente hierro) (Aguilar-Navarro et al., 2018). Los deportistas de alto rendimiento suelen tomar un mayor número de suplementos deportivos (Aguilar-Navarro et al., 2018). No obstante, su consumo no está restringido y ha aumentado en el ámbito deportivo semiprofesional (Colls et al., 2015).

Estos productos se encuentran entre las categorías de alimentos con un crecimiento más rápido en el mercado de los últimos años (Pellegrino et al., 2022), aumentando sobre todo en dos grupos de consumidores: los deportistas recreativos (Kårlund et al., 2019) y los usuarios con estilo de vida saludable (Pellegrino et al., 2022).

Entre los suplementos deportivos destacan los suplementos proteicos (SP), populares entre los atletas y culturistas (Ronis et al., 2018). Los SP son complementos alimentarios ideados para aportar dosis calculadas de polvo de proteínas, con componentes minoritarios como hidratos de carbono, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, aminoácidos o fibra (Pellegrino et al., 2022).

La proteína, componente nutricional esencial en la dieta humana, es necesaria para proporcionar aminoácidos críticos para el crecimiento y desarrollo, catalizadores de reacciones bioquímicas y soporte mecánico de tejidos (Saxton et al., 2021). Rara vez la dieta occidental no proporciona proteína suficiente para suplir los requerimientos diarios (Kårlund et al., 2019). Aun así, por varios motivos, como la necesidad proteica superior de las personas deportistas (Corgne et al., 2019), estos suplementos han recibido una atención cada vez mayor por parte de los consumidores en las últimas décadas (Pellegrino et al., 2022).

La comercialización de este tipo de productos se ha diversificado (Colls et al., 2015), encontrándose en el mercado no solo proteína de procedencia animal, sino vegetariana o vegana procedente soja, guisante, cáñamo o arroz (tienda online de nutrición deportiva Prozis, 2023). Son muchos los factores que influyen en la preferencia por las proteínas vegetales, uno de ellos podría ser la necesidad de las personas veganas y vegetarianas de consumir mayor cantidad de proteína vegetal debido a que su biodisponibilidad es menor que la de la proteína animal (iSanidad, 2019).

Algunos SP han exhibido irregularidades en su composición, como la presencia de cantidades de proteína más baja que la indicada (Corgneau et al., 2019; González Weller et al., 2023) Además, se han encontrado en estos metales como el plomo, arsénico y cadmio (Kutz, 2010; Pasiakos et al., 2013). Los metales pueden aparecer como residuos en los alimentos debido a su presencia en el medio ambiente, a causa de actividades humanas (agricultura, industria, emisiones de escape de automóviles) o como consecuencia de la contaminación durante el procesamiento y el almacenamiento de los alimentos. Los consumidores se exponen principalmente a los metales por vía dietética (EFSA, 2023).

1.1. El análisis del riesgo en Seguridad Alimentaria

Para poder completar un análisis de riesgos se requiere de tres fases: evaluación, gestión y comunicación del riesgo (Figura 1).

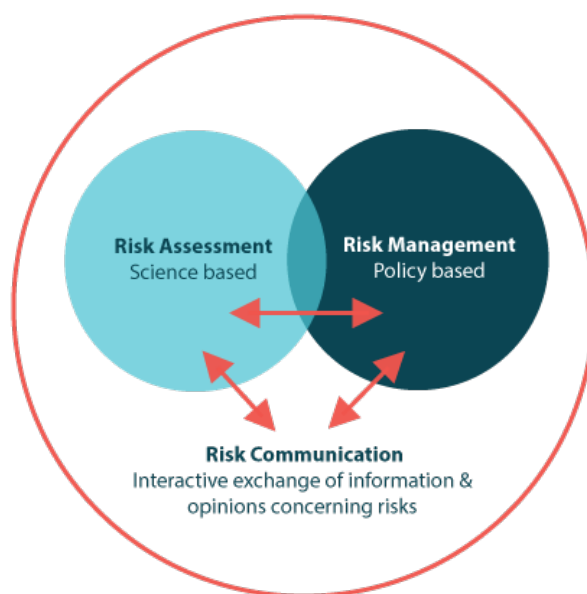


Figura 1 | Fases del análisis del riesgo toxicológico (FSANZ, 2014)

La evaluación del riesgo consta, a su vez de 4 etapas (Figura 2):

- **Identificación del peligro:** identificación de los diferentes agentes capaces de causar efectos adversos para la salud y que pueden estar presentes en el medio ambiente o los alimentos. Entre ellos destacan metales como el Cu y el Cd.
- **Caracterización del peligro:** se establece la relación dosis-respuesta y se fijan valores guía.
- **Determinación de la exposición:** en base a los datos de consumo de alimentos.
- **Caracterización del riesgo:** estimación cualitativa y/o cuantitativa, incluyendo las incertidumbres, de la aparición de efectos adversos conocidos o potenciales para una población dada y de la gravedad de conlleva. Necesita de las etapas anteriores.



Figura 2 | Etapas de la evaluación del riesgo toxicológico

Mientras la gestión del riesgo tiene por objeto ponderar las distintas opciones en base a los resultados, aplicando medidas de control si fueran necesarias, la comunicación del riesgo consiste en el intercambio de información entre las personas encargadas de la gestión y los consumidores y otras partes interesadas (AESAN, 2023).

1.1.1. El cobre

El cobre es un micronutriente imprescindible para el organismo. Forma parte de muchas enzimas en el organismo y tiene un papel fundamental en los procesos de transferencia de electrones. La deficiencia de cobre no es frecuente, pero provoca síntomas clínicos, como anemia, osteoporosis, defectos neurológicos, cutis flácido y cambios de color y textura en el pelo. Además, aumenta el riesgo de aneurisma. Las principales fuentes de cobre en la alimentación son los cereales integrales, los frutos secos, las legumbres, el hígado, los crustáceos y los moluscos. (EFSA, 2015; Mataix y Llopis, 2012). Las ingestas nutricionales de referencia de cobre determinadas por el comité científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición se muestran en la Tabla 1 (AESAN, 2019).

Tabla 1 | Ingestas nutricionales de referencia de cobre (AESAN, 2019)

INR (mg/ día)	Edad	Sexo	Condición
0,3	0-12 meses	-	-
0,4	1-3 años	-	-
0,7	4-9 años	-	-
1	10-13 años	-	-
1	14-19 años	Mujer	-
1,3	14 - >70 años	Hombre	-
1,1	20 – 59 años	Mujer	-
1,2	60 - >70 años	Mujer	-
1,2	-	Mujer	Embarazada
1,5	-	Mujer	En lactancia

Una ingesta excesiva de Cu puede llegar a generar toxicidad, siendo el hígado su órgano diana (EFSA, 2023), pues la desregulación causa complicaciones graves, como la enfermedad de Wilson, reconocida como un trastorno genético autosómico recesivo caracterizado por un defecto en la excreción biliar de cobre. Normalmente, el exceso de cobre obtenido por los alimentos se excreta a través de la bilis, sin embargo, en las personas con esta enfermedad, el cobre no se elimina correctamente y se acumula hasta alcanzar niveles que suponen un riesgo vital (Nakamura et al., 2022) por la alteración de la estructura y función del hígado y cerebro (Uauy et al., 2008).

La EFSA ha evaluado la exposición humana al cobre procedente de todas las fuentes (alimentarias y no alimentarias) concluyendo que esta ingesta no plantea problemas de salud para la población. No obstante, se ha establecido un valor de Ingesta Diaria Admisible (IDA) para la población europea, de 0,07 g/kg de peso corporal/día. (EFSA, 2023) Asimismo, se estableció un Nivel Superior de Ingesta Tolerable o Tolerable Upper Intake Level (UL) de 5 mg/día para adultos, pero no para mujeres embarazadas y lactantes, debido a la ausencia de datos adecuados. Para los niños, el UL de los adultos se extrapola en función del peso corporal. El UL se define como el nivel más alto de ingesta de un nutriente a la que es probable que no se observe ningún efecto adverso para la salud en la mayoría de los individuos de la población general. (AECOSAN, 2015)

1.1.2. El cadmio

El cadmio es un contaminante ambiental (EFSA, 2009) que no posee funciones nutricionales ni fisiológicas en animales o humanos (AESAN, 2021). Proviene de fuentes naturales, como las emisiones volcánicas, y de fuentes industriales y agrícolas. Una vez presente en el medio ambiente, se distribuye principalmente por suelos y aguas, desde donde pasa fácilmente a muchos alimentos (Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria, [ACSA] 2022).

Los alimentos son la principal fuente de exposición al cadmio de la población general no fumadora, siendo los vegetales, algunos cereales (principalmente el arroz y el trigo) y el marisco las principales vías de entrada. Esta exposición depende del consumo y la concentración en alimentos (Tabla 2).

Tabla 2 | Valores medios de cadmio en diferentes grupos de alimentos (EFSA, 2009)

Categoría de alimento	Valor medio de cadmio (mg/kg)
Cereales y productos de cereales	0,0231
Azúcar y productos azucarados, incluyendo chocolate	0,0312
Grasas (vegetales y animales)	0,0062
Verduras, frutos secos y legumbres	0,0670
Raíces con almidón o papas	0,0211

Frutas	0,0039
Jugos de frutas y verduras, refrescos y agua embotellada	0,0016
Café, té, cacao (como líquidos)	0,0041
Bebidas alcohólicas	0,0021
Carne y productos cárnicos, menudencias	0,0974
Carne y sustitutos de la carne	0,0173
Menudencias comestibles y productos de menudencias	0,2057
Preparaciones a base de carne	0,0076
Pescado y marisco	0,0923
Huevos	0,0030
Leche y productos lácteos	0,0046
Alimentos y varios para usos dietéticos	0,0941
Agua del grifo	0,0004

Aunque su absorción por la vía de ingestión es relativamente baja, el cadmio se acumula principalmente en el riñón o hígado, estando su vida media entre 10 - 30 años en humanos. Puede causar disfunción renal, desmineralización ósea y ha sido clasificado como carcinógeno humano (EFSA, 2009). Una pequeña cantidad de cadmio que entra al cuerpo es eliminada lentamente en la orina y las heces.

La Ingesta Semanal Tolerable (IST) de cadmio establecida por la EFSA es de 2,5 µg/kg persona/semana (EFSA, 2009).

En base a estos antecedentes, el presente trabajo analiza la presencia de dos metales en distintos suplementos proteicos comercializados en el mercado europeo, estima la exposición dietética a Cu y Cd a partir de su consumo en distintos escenarios y caracteriza el riesgo en base a las INR, establecidas por la AESAN y el UL para el Cu y en base a la IST establecida para el Cd por la EFSA.

2. OBJETIVOS

- Cuantificar la concentración de cobre y cadmio presentes en muestras de suplementos proteicos (SP) del mercado europeo.
- Determinar la exposición dietética a estos metales a partir del consumo de SP en distintos escenarios de consumo.
- Caracterizar el riesgo derivado de esta exposición dietética.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Muestreo

Se adquirieron un total de 33 muestras de SP (Tabla 3) comercializados y con origen en la UE. La proteína de estos suplementos provenía de diferentes fuentes, entre las que se incluyeron algunas de origen animal y otras de origen vegetal. Fueron adquiridas entre febrero y marzo de 2023 a través de diferentes canales de distribución (tiendas online, tiendas de deporte, supermercados...), llevadas al laboratorio y almacenadas en las condiciones indicadas por el fabricante en sus recipientes originales hasta su procesamiento.

Tabla 3 | Datos sobre las muestras de SP analizadas

Código de muestra*	Tipo de proteína	Tipo de producto (ecológico/convencional)	Fuente/origen de la proteína	Dosis diaria recomendada (g)	Vegana (sí/no)
123	Concentrada	Convencional	Suero de leche	30	No
124	Aislada	Convencional	Suero de leche	30-60	No
125	Concentrada y aislada	Convencional	Guisante, arroz, arándano, almendra y cáñamo	30	Sí
126	Concentrada y aislada	Convencional	Guisante, arroz, arándano, almendra y cáñamo	30	Sí
127	N. E**	Convencional	Guisante y girasol	32	Sí
128	Aislada	Convencional	Soja	20	Sí
129	N. E	Convencional	Guisante	N. E	Sí
130	N. E	Ecológico	Guisante, cáñamo y	40	Sí
131	N. E	Ecológico	Guisante y arroz	24	Sí
132	N. E	Convencional	Cáñamo	N. E	Sí

133	N. E	Ecológico	Suero de leche	N. E	No
134	Concentrada	Convencional	Guisante, calabaza y arroz	28	Sí
135	Aislada	Convencional	Soja	35	Sí
136	Aislada	Convencional	Suero de leche	35	No
137	N. E	Convencional	Calabaza	15	Sí
138	N. E	Ecológico	Haba	30	Sí
139	N. E	Ecológico	Cáñamo, arroz y calabaza	30	Sí
140	N. E	Ecológico	Cáñamo, arroz y guisante	30	Sí
141	N. E	Ecológico	Cáñamo, guisante, espirulina y moringa	6	Sí
142***	Aislada	Ecológico	Suero de leche	20	No
143	Concentrada	Convencional	Guisante y arroz	30	Sí
144	Concentrada	Convencional	Suero de leche	90	No
145	Concentrada	Convencional	Suero de leche	15	No
146	Aislada	Convencional	Suero de leche	30	No
147	Concentrada	Convencional	Suero de leche	30	No
148	Concentrada	Convencional	Suero de leche	30	No
149	N. E	Convencional	Arroz integral, calabaza y girasol	15-30	Sí
150	N. E	Ecológico	Cáñamo	15	Sí
151	N. E	Ecológico	Guisante	15-30	Sí
152	N. E	Ecológico	Girasol	15	Sí
153	N. E	Ecológico	Cáñamo	10	Sí

154	Concentrada y aislada	Ecológico	Guisante, garbanzos, cáñamo y calabaza	30	Sí
155	N. E	Convencional	Semillas de calabaza	15	Sí
156	N. E	Ecológico	Arroz	15	Sí

*El código de muestra se ha otorgado con respecto a muestras anteriores de este laboratorio

**No especificado en el envase

***Muestra despreciada

3.2. Tratamiento de las muestras

Se pesaron por triplicado aproximadamente 5 g de cada suplemento en crisoles de porcelana (peso húmedo) y se sometieron a desecación en estufa durante 24 h a 80°C, para posterior incineración por vía seca y mineralización en horno mufla (Figura 3).

Las proteínas de origen animal se incineraron durante 48 h: 24 h para alcanzar 450°C y 24 h a temperatura constante. Por otro lado, partiendo de estudios anteriores de este grupo de investigación, las muestras vegetales se procesaron durante más tiempo, utilizando un programa de subida de temperatura de 48 h, en lugar de 24 h y manteniendo 24 h a temperatura constante (450°C).

Las cenizas obtenidas deben ser blancas o blanquecinas para continuar con el proceso. En algunas muestras, las cenizas fueron negras o grises, lo que es indicativo de la no mineralización total de la muestra. En esos casos, se procedió a realizar una digestión química disolviendo en HNO₃ (65%), dejando secar bien en placa calefactora hasta evaporación completa del ácido. Posteriormente se llevaron a horno a incinerar de nuevo, esta vez con un programa de 12 h de subida y 12 h de mantenimiento a 450°C.

Se pesaron las cenizas blancas, obtenidas de la primera o segunda incineración y se disolvieron en una disolución de HNO₃ al 1,5% y se filtraron, hasta alcanzar un volumen de 25 mL. Finalmente, se introdujeron tubos de plástico hasta su determinación.

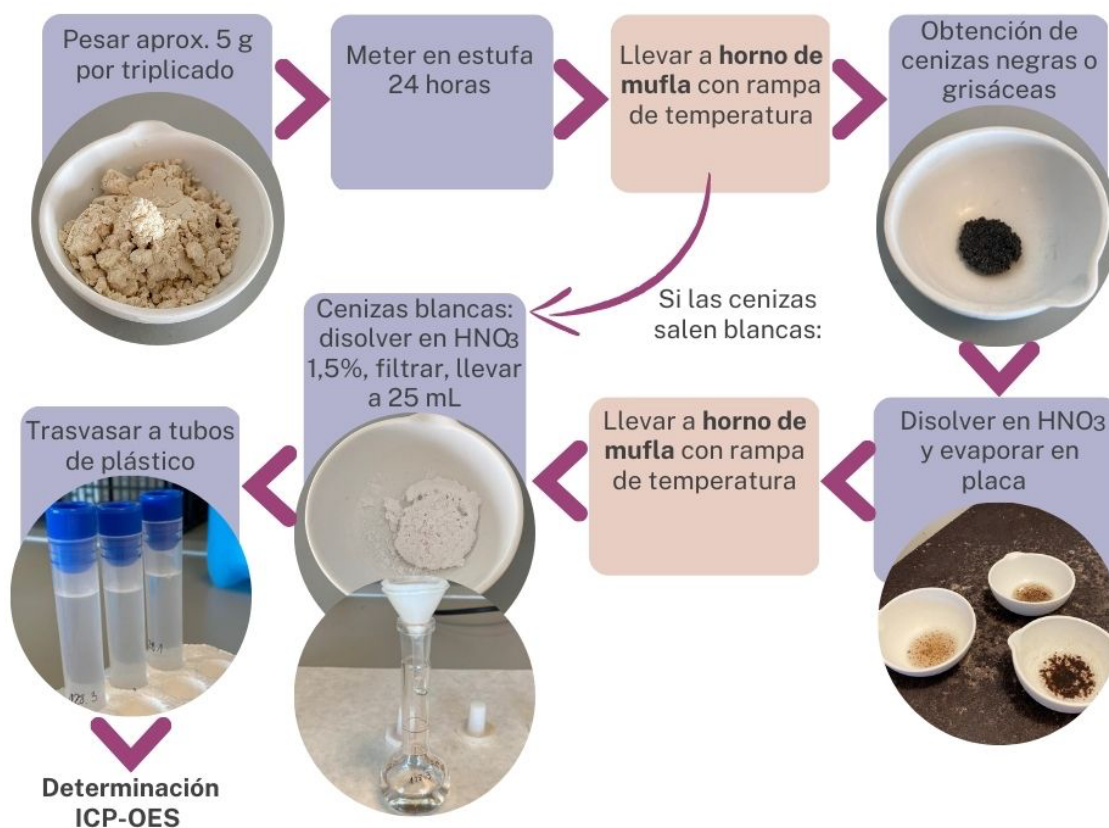


Figura 3 | Diagrama general del procedimiento experimental

3.3. Determinación de Cu y Cd

La concentración metálica se determinó mediante Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma acoplado Inductivamente (ICP-OES). La Tabla 4 muestra las condiciones instrumentales.

Tabla 4 | Parámetros operativos de la Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Potencia de RF	1150 W
Flujo de gas nebulizador	12,5 L/min
Flujo de aire frío	12,5 L/min
Presión del gas nebulizador	0,2 L/min
Flujo del gas auxiliar	0,5 L/min

Velocidad de la bomba	45 rpm		
Metales	Longitudes de onda de emisión (nm)	Límite de detección (mg/L)	Límite de cuantificación (mg/L)
Cu	324,7	0,003	0,011
Cd	214,4	0,0007	0,002

3.4. Estimación de la exposición a Cu y Cd y caracterización del nutricional y del riesgo

Una vez se determinan los niveles de cada metal, se realiza la estimación de la exposición a Cu y Cd, calculando la ingesta diaria estimada (IDE) (1), considerando cuatro escenarios de consumo (15, 30, 60 y 90 g al día). Los primeros escenarios (15 y 30 g/día) corresponden a la ingesta diaria recomendada incluida en la mayoría de las etiquetas de estos SP.

Posteriormente, para la caracterización nutricional del cobre, se calcula la contribución de la IDE a las ingestas nutricionales de referencia (INR) y al UL en el caso de que se superen las INR. Para la caracterización del riesgo toxicológico del cadmio, se calcula la contribución de la IDE a la IST, establecida por la EFSA (2).

Además, con objeto de incluir diversidad de perfiles de consumidores, se consideran tres perfiles en base al peso corporal: 50 kg, 70 kg y 90 kg para en el caso del cadmio. Para el Cu se consideran hombres y mujeres a partir de los 14 años, dividiéndose, según la Tabla 1, en 3 grupos: mujer de 14-19 años, hombre de 14 a 70 años y mujer de 20 a 59 años.

$$\text{IDE} = \text{consumo de SP (g/día)} \cdot \text{concentración del metal en SP (mg/ g SP)} \quad (1)$$

$$\% \text{ Contribución} = \frac{\text{ingesta estimada}}{\text{valor de referencia}} \cdot 100 \quad (2)$$

3.5. Análisis estadístico

Se usa el software GraphPad Prism 8.1. para el análisis estadístico.

Tabla 5 | Datos descriptivos

	Cu	Cd
No. valores	99	88
Mínimo	0,4170	0,000
Máximo	34,95	2,536
Rango	34,53	2,536
Media	9,840	0,1475
Desviación Estándar	7,861	0,3510

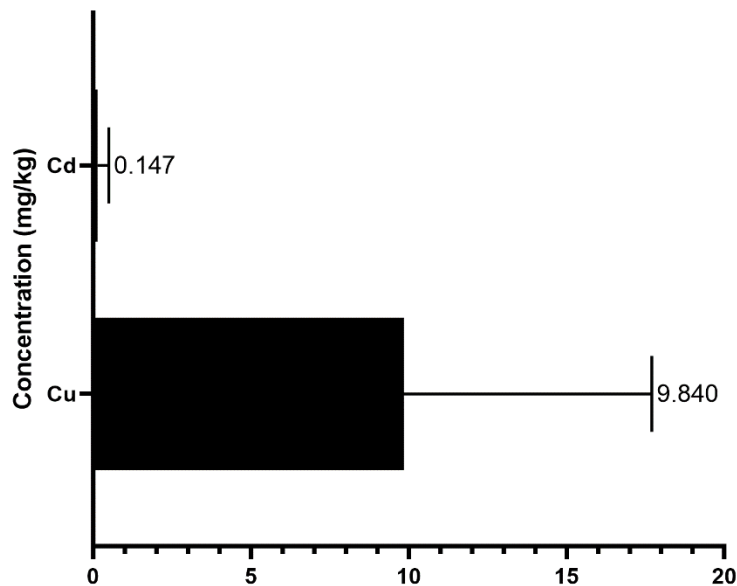


Figura 4 | Concentración media de Cu y Cd (mg/kg) en los SP analizados

Se realizan estudios de normalidad, para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Se aplicaron los test de Anderson-Darling, D'Agostino & Pearson, Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov y se observa que no siguen una distribución normal. Por lo tanto, se procede a aplicar test no paramétricos, usando el de Mann-Whitney. Se encuentra que la concentración entre Cd y Cu es significativamente diferente, con un valor de $p < 0.0001$.

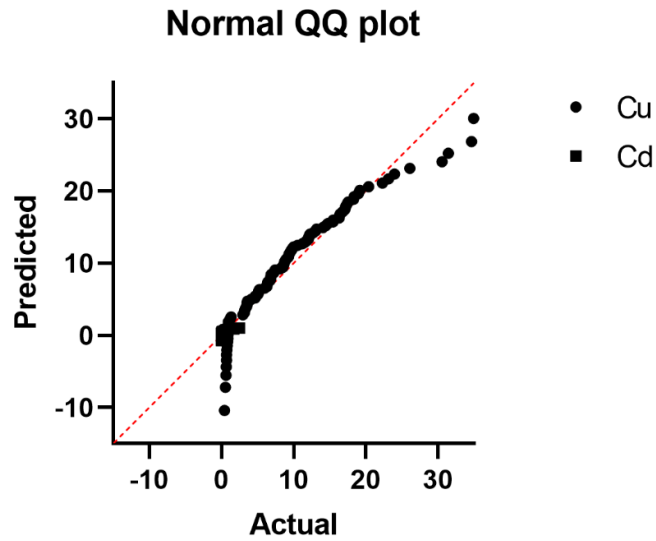


Figura 5 | Gráfica Q-Q de distribución de los datos

Tabla 6 | Estudio de correlación Cu - Cd

Cu - Cd	
Spearman r	
r	0,1114
95% confidence interval	-0,1066 to 0,3192
P value	
P (two-tailed)	0,3013
P value summary	ns
Exact or approximate P value?	Approximate
Significant? (alpha = 0.05)	No
Number of XY Pairs	88

El estudio de correlaciones indica que no existe ningún tipo de correlación entre el Cu y el Cd, ni positiva ni negativa.

XY data: Correlation of Comparación

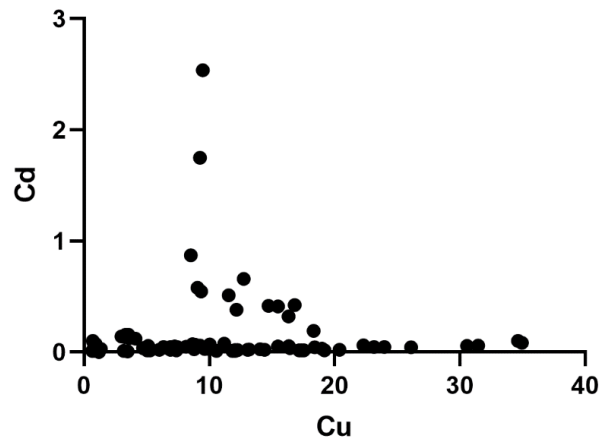


Figura 6 | Ausencia de correlación entre los niveles de Cu y Cd en los SP estudiados

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 7 muestra los peligros alimentarios identificados y sobre los que se van a centrar las fases de estimación de la exposición dietética y caracterización del riesgo a partir de los suplementos proteicos consumidos.

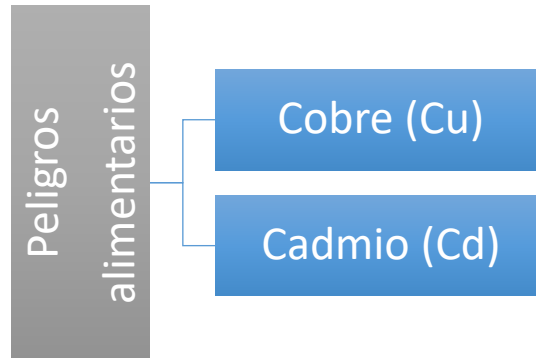


Figura 7 | Peligros alimentarios objeto de estudio

La Tabla 7 muestra la concentración media, mínima y máxima de cadmio en las muestras analizadas, las IDE en diferentes escenarios de consumo y las contribuciones a la IST, teniendo en cuenta los diferentes perfiles de consumidores.

Tabla 7 | IDE y contribuciones a la IST del cadmio, consumiendo 15, 30, 60 y 90 g/día de SP

Metal	Cmedia (mg/kg) (Cmin-Cmax)	Consumo (g SP/día)	IDE media (mg/día) (IDEmin - IDE max)	Peso corporal (kg)		
				50	70	90
				% Contribución a IST	% Contribución a IST	% Contribución a IST
Cadmio	0,0943 (X-0,5712)	15	0,001 (X-0,009)	7,92 (X-48)	5,66 (X-34,27)	4,40 (X-26,66)
		30	0,003 (X-0,017)	15,84 (X-96)	11,32 (X-68,54)	8,80 (X-53,31)
		60	0,006 (X-0,034)	31,68 (X-191,9)	22,63 (X-137,09)	17,60 (X-106,62)

		90	0,008 (X-0,051)	47,53 (X-287,9)	33,95 (X-205,63)	26,40 (X-159,94)
--	--	----	-----------------	-----------------	------------------	------------------

Si se compara el nivel de concentración media de cadmio para estos SP, que es 0,0943 mg/kg (Tabla 7), con los niveles de este metal (Tabla 2) para diferentes grupos de alimentos según la EFSA, el valor más similar es el del grupo “*alimentos y varios para usos dietéticos*” (0,0941 mg/kg), lo cual es coherente, ya que en este grupo se incluirían los suplementos alimenticios.

Para el primer escenario de consumo (15 g/día) y el segundo (30 g/día), que representan la ingesta diaria recomendada en la mayoría de las marcas comerciales de SP, con el consumo exclusivo de este alimento no se supera la IST establecida por la EFSA. Con respecto al tercer escenario de consumo, si las IDE son calculadas usando la máxima concentración de cadmio, el consumo de 60 g/día llevaría al consumidor a superar la IST para todos los casos, al igual que ocurre en el cuarto escenario de consumo (90 g/día).

Para aquellas muestras en cuyo etiquetado se indica una dosis diaria recomendada más alta, que son la 124 (30-60 g), 127 (32 g), 135 (35 g), 136 (35 g), 144 (90 g) y 130 (40 g), se comprueba que la concentración de cadmio que contienen no llevaría al consumidor a IST si se consume la cantidad indicada en los envases. Incluso dos de ellas presentan una concentración de cadmio tan baja que se encuentra por debajo del límite de cuantificación.

Por lo general, se observa que las muestras con los valores medios de Cd más altos son las de origen vegetal, no las de suero de leche, lo que concuerda con lo mostrado en la Tabla 2, en la que se muestra que la leche y productos lácteos contienen menos cadmio que los cereales, verduras, frutos secos y legumbres, por ejemplo.

Se ha encontrado una muestra (152) con una concentración muy elevada de Cd, que distorsionaba la media y generaba porcentajes de contribución máximos excesivos, que no parecen reales para el producto analizado (Tabla 8). En la realización de los cálculos se ha despreciado dicha muestra, ya que el valor de la concentración media en esta es mucho mayor que en el resto (anexo I). Se buscó alguna característica de la muestra que pudiera diferenciarla del resto y provocar este valor anómalo, pero no se encontró. La proteína provenía de girasol, al igual que en otras dos de las muestras analizadas, en una de ellas la concentración de cadmio fue más baja que la media y en otra mayor que la media. Por lo tanto, se determinó que este resultado pudo ser debido a una contaminación durante el proceso experimental.

Tabla 8 | IDE y contribuciones a la IST del cadmio para la muestra 153 de SP, consumiendo 15, 30, 60 y 90 g/día de SP

Metal	Muestra de SP	Consumo (g SP/ día)	IDE max	Peso corporal (kg)		
				50	70	90
				% Contribución máx. a IST	% Contribución máx. a IST	% Contribución máx. a IST
Cadmio	152	15	0,024	134,40	96,00	74,67
		30	0,049	274,40	196,00	152,44
		60	0,097	543,20	388,00	301,78
		90	0,146	817,60	584,00	454,22

Tabla 9 | IDE y contribuciones a la INR del cobre, consumiendo 15, 30, 60 y 90 g/día de SP

Metal	Cmedia (mg/kg) (Cmin-Cmax)	Consumo (g SP/ día)	IDE media (mg/día) (IDEmín - IDE max)	Edad/sexo		
				Mujer 14-19 años	Mujer 20-59 años	Hombre 14->70 años
				% Contribución a INR	% Contribución a INR	% Contribución a INR
Cobre	9,840 (0,553-33,674)	15	0,148 (0,008-0,505)	14,8 (0,8-50,5)	13,45 (0,73-45,91)	11,38 (0,62-38,85)
		30	0,295 (0,017-1,010)	29,50 (1,7-101)	26,82 (1,5-91,92)	22,69 (1,3-77,69)
		60	0,590 (0,033-2,020)	59 (3,3-102)	53,64 (3-92,73)	43,32 (2,54-78,46)
		90	0,886 (0,050-3,031)	88,6 (5-303,10)	80,55 (4,55-275,55)	68,15 (3,85-233,15)

Con respecto a los resultados para el cobre (Tabla 9), en ninguno de los casos para la concentración media la ingesta excede la INR establecida por la AESAN. Para aquellas muestras en cuyo etiquetado se indica una dosis diaria más alta, que son la 124 (30-60 g), 127 (32 g), 135 (35 g), 136 (35 g), 144 (90 g) y 130 (40 g), se comprueba que la concentración de cobre que contienen no llevaría al consumidor a superar la INR si se consume la cantidad indicada en los envases. Sin embargo, si se tiene en cuenta la concentración máxima, en varios casos se supera la INR. Entonces, se caracteriza el riesgo en base al UL, y se observa que en ninguno de los casos supera (Tabla 10).

Tabla 10 | Porcentajes de contribución al UL del cobre para los casos que superan la ingesta nutricional recomendada (INR) a partir de las muestras de SP analizadas

Consumo (g SP/día)	Edad/sexo	% Contribución a INR	%Contribución a UL
30	Mujer 14-19 años	101	20,2
60	Mujer 14-19 años	102	40,4
90	Mujer 14-19 años	303,1	60,62
90	Mujer 20-59 años	275,55	60,62
90	Hombre 14 - >70 años	233,15	60,62

5. CONCLUSIONES

Los SP son productos que se emplean para aumentar la ingesta proteica, pero su composición no es únicamente proteica, pues contienen otros nutrientes como elementos esenciales y también algunos potencialmente tóxicos. Tras el estudio de la concentración de metales en muestras de SP y la posterior caracterización nutricional y del riesgo, se concluye que para el Cd solo se supera la IST establecida por la EFSA en el caso de los valores de concentración máxima y en los dos escenarios de consumo más altos (60 g y 90 g) y que en el caso del cobre se supera la INR para algunos valores máximos, pero no se llega a superar el UL en ningún caso.

Por lo tanto, si se siguen las indicaciones de consumo del fabricante, no existe riesgo toxicológico derivado del consumo de estos SP en lo que respecta al Cu y Cd. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la caracterización del riesgo se ha realizado teniendo en cuenta solo este alimento, no la dieta completa, con lo que los porcentajes de contribución y, por consiguiente, tanto la exposición dietética estimada como el riesgo serían infravalorados. La presencia de estos metales puede afectar a la salud de algunos consumidores más vulnerables, por lo que futuros análisis del riesgo tendrán que personalizar la caracterización del riesgo para poblaciones vulnerables y grupos de riesgo.

Se recomienda a la industria alimentaria y a los gestores del riesgo, promover la inclusión de datos sobre el contenido de estos elementos en la información nutricional de las etiquetas y promocionar un consumo moderado y responsable de los suplementos proteicos. Conjuntamente, se debería incluir siempre en el etiquetado de este tipo de suplemento un valor de la ingesta diaria recomendada o máxima. Asimismo, se debe impulsar un marco europeo que regule los niveles máximos de metales tóxicos en SP. Con todo ello, se podrá proteger la salud de los consumidores a la vez que se incrementa el conocimiento sobre los riesgos/beneficios del uso de estos productos.

ANEXO I

Tabla 11 | Concentración media, máxima y mínima de cobre y cadmio en las muestras de SP analizadas

	<i>C</i> media Cd (mg/kg) (<i>C</i> min- <i>C</i> máx)	<i>C</i> media Cu (mg/kg) (<i>C</i> min- <i>C</i> máx)
123	0,0197 (X-0,0197)	0,870 (0,801-0,961)
124	X (X-X)	0,928 (0,906-0,969)
125	0,048 (0,040-0,055)	7,389 (6,382-8,543)
126	0,070 (0,065-0,075)	10,035 (8,884-11,195)
127	0,043 (0,040-0,045)	6,889 (6,321-7,439)
128	0,010 (0,010-0,010)	11,486 (10,572-12,058)
129	0,016 (0,015-0,020)	5,443 (5,043-6,002)
130	0,020 (0,019-0,020)	12,456 (12,052-13,052)
131	0,038 (0,035-0,039)	6,778 (6,732-6,804)
132	0,015 (0,015-0,015)	17,359 (17,169-17,544)
133	0,094 (0,084-0,100)	0,733 (0,693-0,769)
134	0,481 (0,025-0,872)	8,885 (8,514-9,351)
135	0,031 (0,029-0,034)	9,731 (9,624-9,839)
136	0,013 (X-0,029)	1,07 9 (0,709-1,342)
137	0,033 (0,020-0,050)	17,197 (15,480-18,991)
138	0,048 (0,044-0,055)	26,879 (23,971-30,568)
139	0,023 (0,020-0,025)	13,883 (13,169-14,419)
140	0,517 (0,382-0,658)	12,151 (11,546-12,739)
141	0,059 (0,049-0,070)	8,695 (8,155-9,265)
143	0,045	5,392

	(0,035-0,055)	(4,708-6,338)
144	X (X-X)	5,419 (4,682-6,449)
145	0,031 (0,010-0,074)	0,913 (0,893-0,931)
146	0,095 (X-0,157)	3,707 (3,476-4,101)
147	0,010 (X-0,010)	0,553 (0,417-0,662)
148	0,068 (X-0,125)	3,455 (3,175-3,611)
149	0,143 (0,135-0,155)	3,189 (2,995-3,329)
150	0,137 (0,035-0,321)	16,361 (16,324-16,426)
151	0,075 (0,015-0,191)	19,297 (18,319-20,389)
152	1,621 (0,579-2,536)	9,271 (9,066-9,481)
153	0,081 (0,059-0,100)	33,674 (31,449-34,948)
154	0,049 (0,044-0,060)	21,280 (18,407-23,136)
155	0,017 (0,015-0,020)	7,687 (6,900-8,788)
156	0,417 (0,411-0,423)	15,672 (14,713-16,814)

X: valor no disponible porque se encuentra por debajo del límite de cuantificación (LOQ)

6. BIBLIOGRAFÍA

1. ACSA [Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria] (2022) *Cadmio* [Página Web] Acsa.gencat.cat [Actualizado 14 octubre 2022] [Consultado el día 07/02/2023] Disponible en: <https://acsa.gencat.cat/es/actualitat/butlletins/acsa-brief/cadmi/>
2. AESAN. Informe del Comité Científico sobre Ingestas Nutricionales de Referencia para la población española (2019) *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 29, 43-68.
3. AESAN (2020) *Niveles máximos de ingesta admisible (tolerable upper intake level) para vitaminas y minerales evaluados por efsa* [Página Web] Aesan.gob.es [Consultado el día 05/03/2023] Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/niveles_maximos.htm
4. AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2021) *Cadmio* [Página Web] Aesan.gob.es [Consultado el día 04/02/2023] Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/cadmio.htm
5. AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición) (2023) *Evaluación de Riesgos* [Página Web] Aesan.gob.es [Consultado el día 08/02/2023] Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subseccion/evaluacion.htm
6. Aguilar-Navarro, Millán, Muñoz-Guerra, Jesús, Plata, María del Mar, & Coso, Juan del. (2018). Validación de una encuesta para determinar la prevalencia en el uso de suplementos en deportistas de élite españoles. *Nutrición Hospitalaria*, 35(6), 1366-1371.

7. Colls Garrido, C., Gómez-Urquiza, J. L., Cañadas-De la Fuente, G. A., & Fernández-Castillo, R. (2015). Uso, efectos y conocimientos de los suplementos nutricionales para el deporte en estudiantes universitarios. *Nutrición Hospitalaria*, 32(2), 837-844.
8. Corgneau, M., Gaiani, C., Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., Ritié-Pertusa, L., Le, D.T.L. and Scher, J. (2019). Nutritional quality evaluation of commercial protein supplements. *Int J Food Sci Technol*, 54, 2586-2594.
9. EFSA (European Food Safety Authority) (2009). Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain, EFSA Journal 2009; 980, 1-139
10. EFSA (European Food Safety Authority) (2015) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper. EFSA Journal 2015; 13 (10):4253, 51 pp.
11. EFSA (European Food Safety Authority) (2023) Scientific Opinion on the re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. EFSA Journal 2023; 21(1):7728, 117 pp.
12. EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) (2023) *Metales como contaminantes en alimentos* [Página Web] Efsa.europa.eu [Consultado el día 06/02/2023] Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/metals-contaminants-food#publicado>
13. Food Standards Australia New Zealand. (January, 2014). *Risk análisis*. [Página Web] [Consultado el día 08/02/2023] Disponible en: <https://www.foodstandards.gov.au/science/riskanalysis/pages/default.aspx>
14. González-Weller, D., Paz-Montelongo, S., Bethencourt-Barbuzano, E., Niebla-Canelo, D., Alejandro-Vega, S., Gutiérrez, Á. J., Hardisson, A., Carrascosa, C., & Rubio, C. (2023). Proteins and Minerals in Whey Protein Supplements. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(11), 2238.
15. iSanidad (2019) *Suplementos de proteínas de origen vegetal, una opción eficaz para veganos y vegetarianos* [Página Web] [Consultado el día 15/02/2023]

Disponible en: <https://isanidad.com/145724/suplementos-de-proteinas-de-origen-vegetal-una-opcion-eficaz-para-veganos-y-vegetarianos/>

16. Mataix, J. y J. Llopis. (2012) MInerales. En *Nutrición y Alimentación Humana*. J. Mataix (ed) pp.265-301. Editorial Ergon.
17. Kårlund, A., Gómez-Gallego, C., Turpeinen, A. M., Palo-Oja, O. M., El-Nezami, H., & Kolehmainen, M. (2019). Protein Supplements and Their Relation with Nutrition, Microbiota Composition and Health: Is More Protein Always Better for Sportspeople? *Nutrients*, 11(4), 829.
18. Kutz, GD. (2010). *Herbal Dietary Supplements: Examples of Deceptive Or Questionable Marketing Practices and Potentially Dangerous Advice: Congressional Testimony*. DIANE Publishing.
19. Nakamura, H., Kurihara, S., Anayama, M., Makino, Y., & Nagasawa, M. (2022). Four Cases of Serum Copper Excess in Patients with Renal Anemia Receiving a Hypoxia-Inducible Factor-Prolyl Hydroxylase Inhibitor: A Possible Safety Concern. *Case reports in nephrology and dialysis*, 12(2), 124–131.
20. Pasiakos, Stefan & Austin, Krista & Lieberman, Harris & Askew, Eldon. (2013). Efficacy and Safety of Protein Supplements for US Armed Forces Personnel: Consensus Statement. *The Journal of nutrition*. 143.
21. Pellegrino, L., Hogenboom, J. A., Rosi, V., Sindaco, M., Gerna, S., & D'Incecco, P. (2022). Focus on the Protein Fraction of Sports Nutrition Supplements. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(11), 3487.
22. Prozis (empresa de desarrollo de productos) (2023) *Nutrición deportiva: proteína vegetal* [Página Web] [Consultado el día 08/02/2023] Disponible en: <https://www.prozis.com/es/es/nutricion-deportiva/proteina/proteina-vegetal>
23. Ronis, M. J. J., Pedersen, K. B., & Watt, J. (2018). Adverse Effects of Nutraceuticals and Dietary Supplements. *Annual review of pharmacology and toxicology*, 58, 583–601.

24. Saxton, R., & McDougal, O. M. (2021). Whey Protein Powder Analysis by Mid-Infrared Spectroscopy. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(5).
25. Uauy, R., Maass, A., & Araya, M. (2008). Estimating risk from copper excess in human populations. *The American journal of clinical nutrition*, 88(3), 867S–71S.