

Trabajo de Fin de Grado

Exposición a metales a partir del consumo de semillas de chía y lino

Grado en Nutrición Humana y Dietética

Facultad de Farmacia

Silvia María Santana Sosa

Directora: Carmen Rubio Armendáriz

Área de conocimiento: Toxicología Alimentaria

Curso 2023/2024

Resumen

La globalización ha conllevado la introducción en la dieta europea de alimentos propios de otras culturas y zonas geográficas, como las semillas de chía y lino, originarias de México y Mesopotamia, respectivamente. Ambas han demostrado tener efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular por su alto contenido en fibra, proteínas y ácidos grasos ω -3, entre otros. Su creciente demanda y consumo ha despertado no sólo el interés de la industria alimentaria, sino de los evaluadores del riesgo ya que, además de minerales de valor nutricional, estos alimentos vegetales pueden presentar algunos contaminantes ambientales.

El objetivo de este trabajo consistió en la determinación, mediante espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), de la concentración de un mineral de valor nutricional, el potasio (K), y un elemento tóxico, el metal pesado Cadmio (Cd), en semillas de chía y lino disponibles comercialmente en Europa, así como estimar, para dos escenarios de consumo posibles, las ingestas dietéticas estimadas de ambos elementos y su contribución a las ingestas de referencia. Además, en el caso de la exposición dietética a Cadmio se efectuó una caracterización del riesgo.

Los resultados mostraron que las semillas de lino poseen un mayor contenido de K y Cd que las semillas de chía. Además, no existen diferencias significativas en el contenido en K y Cd según el tipo de cultivo (ecológico vs convencional), ni según el área geográfica de cultivo (Unión Europea vs extracomunitario). El consumo de 15 g/día de semillas no supone por sí solo un riesgo para la salud, pero el consumo de 50 g/día de semillas de lino podría suponer un riesgo al superar el 20% de la ingesta semanal tolerable de Cd, por lo que se requiere un marco regulador del contenido máximo de este y otros elementos potencialmente tóxicos en semillas emergentes.

Palabras clave: semillas de chía, semillas de lino, ICP-OES, K, Cd, estimación de la exposición dietética, evaluación del riesgo.

Abstract

Globalization has led to the introduction of foods from other cultures and geographical areas into the European diet, such as chia and flax seeds, natural from Mexico and Mesopotamia, respectively. Both have been proven beneficial for cardiovascular health and blood glucose levels due to their high content of fiber, proteins and omega-3 fatty acids, among others. Their increasing demand and consumption have not only aroused the interest of the food industry, but also of risk assessors since, in addition to nutritionally valuable minerals, these plant foods may contain some environmental contaminants.

The aim of this study was to determine, by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), the concentration of a nutritionally valuable mineral, potassium (K), and a toxic element, the heavy metal cadmium (Cd), in commercially available chia and flax seeds in Europe, comparing organic versus conventional production, as well as estimating, for two possible consumption scenarios, the estimated dietary intakes of both elements and their contribution to the reference intakes. In addition, in the case of dietary exposure to cadmium, we carried out a risk characterization.

Our results show that flax seeds have a higher content of K and Cd than chia seeds. Additionally, there are no significant differences in the content of K and Cd based on the type of farming (organic vs conventional), or geographical area of the crops (European Union vs non-EU). The consumption of 15 g/day of seeds does not pose a health risk on its own, but the consumption of 50 g/day of flax seeds could pose a risk, as it exceeds the 20% of the tolerable weekly intake of Cd, highlighting the need for a regulatory framework on the maximum content of this and other potentially toxic elements in emerging seeds.

Keywords: chia seeds, flax seeds, ICP-OES, K, Cd, estimation of dietary exposure, risk assessment.

Índice

Resumen.....	1
Abstract	2
Índice.....	3
1. Introducción	4
1.1. Semillas emergentes: semillas de chía y lino.....	4
1.2. Beneficios y riesgos de la ingesta de metales	5
1.2.1. Potasio (K)	6
1.2.2. Cadmio (Cd)	7
3. Evaluación del riesgo en Toxicología Alimentaria.....	7
2. Hipótesis y objetivos.....	9
3. Material y métodos	10
3.1. Selección y tratamiento de muestras.....	10
3.1.1. Selección y características de las muestras.....	10
3.1.2. Tratamiento de las muestras	11
3.2. Método analítico	12
3.3. Análisis estadístico	13
3.4. Estimación de la ingesta y caracterización del riesgo.....	13
4. Resultados y discusión	15
4.1. Niveles de metales en semillas	15
4.2. Estimación de la ingesta diaria estimada	19
4.3. Caracterización del riesgo	20
5. Conclusiones.....	22
6. Bibliografía.....	23

1. Introducción

1.1. Semillas emergentes: semillas de chía y lino

La globalización ha conllevado un cambio en los patrones de consumo de alimentos. Hoy los consumidores buscan mantener y mejorar su salud a través de la alimentación. Por ello, alimentos que se comercializan como beneficiosos para la salud, como las semillas de chía y lino, ven su demanda y consumo incrementados.

Las semillas de chía (*Salvia hispanica*) (**Figura 1**), fueron autorizadas para su comercialización en Europa en 2009 (Reglamento (CE) N° 258/97). Desde entonces su popularidad es creciente por ser fuente de ácidos grasos ω -3, fibra y proteínas, entre otros. Estudios previos en humanos demuestran una asociación entre el consumo de semillas de chía y efectos antiinflamatorios y antidiabéticos, así como mejoras en la enfermedad cardiovascular, diabetes e hipertensión (Melo et al., 2019; Teoh et al., 2018).



Figura 1. Chía (*Salvia hispanica*) planta (A), semillas (B) y composición nutricional según FoodData Central (U.S. Department of Agriculture) (C) (Modificado de Lira et al., 2023).

Las semillas de lino (*Linum usitatissimum*) (**Figura 2**), de coloración dorada o marrón-rojiza, se caracterizan por un alto contenido en ácidos grasos ω -3, proteínas de alta calidad y fibra soluble (Nandi & Ghosh, 2015). Además, se consideran una fuente de compuestos bioactivos como flavonoides, ácidos fenólicos y lignanos, con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, entre otras (Shim et al., 2014). Estudios previos asocian la mejora de marcadores de riesgo cardiovascular con el consumo de semillas de lino, como la disminución del colesterol LDL, los valores de presión arterial y un mejor control de la glucemia en pacientes con diabetes tipo 2 (Khalessi et al., 2015; Pan et al., 2007; Patade et al., 2008).

1. Introducción

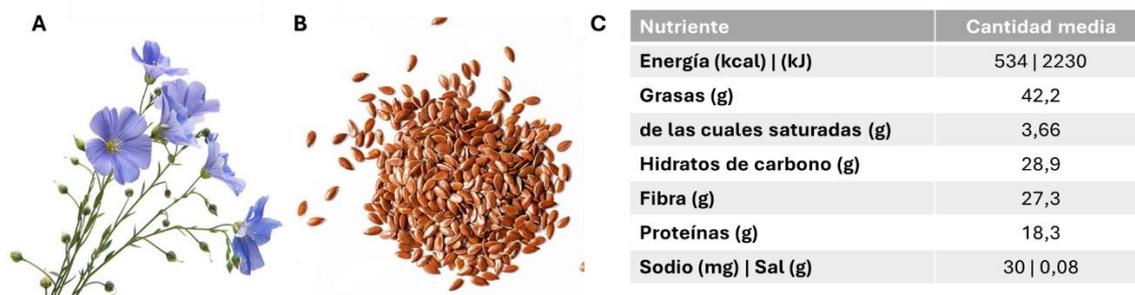


Figura 2. Lino (*Linum usitatissimum*) planta (A), semillas (B) y composición nutricional según FoodData Central (U.S. Department of Agriculture) (C) (Modificado de Lira et al., 2023).

No obstante, cabe destacar que en ambos casos los beneficios dependen de factores como el estado de salud inicial del individuo y la forma, cantidad y tiempo de consumo, entre otros.

La bibliografía revisada confirma los beneficios para la salud humana derivados del consumo de ambas semillas. Sin embargo, existe menos información sobre los posibles efectos negativos y riesgos derivados de su consumo, no existiendo estudios de evaluación de riesgos sobre los elementos potencialmente tóxicos (PTE) vehiculados por estas semillas en caso de estar contaminadas.

1.2. Beneficios y riesgos de la ingesta de metales

Muchos elementos cumplen funciones vitales en la homeostasis del ser humano, como el Ca, Na y K, de forma que asegurar su aporte al organismo es necesario para mantener las funciones básicas y la supervivencia.

Mientras las ingestas dietéticas de referencia (IDR) establecen la cantidad necesaria de un nutriente para prevenir enfermedades por déficit de ingesta en individuos sanos, los niveles máximos de ingesta tolerable establecen las dosis a partir de las cuales podrían producirse efectos adversos (**Figura 3**).

1. Introducción



Figura 3. Parámetros relacionados con las IDR. Las necesidades representan los requerimientos medios estimados (RME) para cubrir las necesidades de la mitad de los individuos sanos de un grupo de edad y género determinados, mientras que las recomendaciones dietéticas (RD) establecen la cantidad suficiente para cubrir las necesidades del 97,5% de dicha población. Las ingestas adecuadas (IA) son un valor de referencia que se considera adecuado para un nutriente ante la ausencia de datos suficientes para hacer recomendaciones, mientras que los límites superiores de ingesta tolerable (LSIT) representan la cantidad máxima de un nutriente que se puede ingerir por población general sin riesgo evidente para la salud (Henufood (Fuente: Gil Hernández 2005), 2012). IA: ingestas adecuadas; IDR: ingestas dietéticas de referencia; LSIT: límite superior de ingesta tolerable; RD: recomendaciones dietéticas; RME: requerimientos medios estimados.

Sin embargo, existen elementos sin función conocida en el organismo que son capaces de causar daños incluso a bajas concentraciones, como son los metales pesados, para los que no se pueden establecer ingestas recomendadas, sino límites o ingestas diarias tolerables (IDT), puesto que cualquier cantidad puede suponer un riesgo para la salud.

1.2.1. Potasio (K)

El K es un mineral esencial que cumple funciones críticas en la salud humana, jugando un papel importante en el mantenimiento de la osmolaridad celular, el equilibrio ácido-base, la transmisión del impulso nervioso y la regulación de funciones cardíacas y musculares (Palmer & Clegg, 2016). Debido a la importancia de los papeles que desempeña, su homeostasis está estrechamente regulada, puesto que alteraciones por exceso o por defecto pueden causar desórdenes en todos los sistemas, como arritmias letales o muerte súbita, entre otros (Yamada & Inaba, 2021).

El valor de referencia nutricional en el caso del K es la ingesta adecuada (IA), que se utiliza cuando no existen datos suficientes para calcular necesidades medias. Una IA es el nivel medio de ingesta de un nutriente que, sobre la base de observaciones o experimentos, se considera adecuado a las necesidades de la población. Este valor se establece por grupos de edad, pero no tiene en cuenta el

1. Introducción

peso del individuo y, en el caso del K, tampoco hace distinción por sexo, como podemos observar en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Valores de ingesta adecuada (IA) de K (*European Food Safety Authority (EFSA), 2016*).

Grupo poblacional	Edad	Ingesta adecuada (mg/día)
Infantes	7-11 meses	750
Niños	1-3 años	800
Niños	4-6 años	1100
Niños	7-10 años	1800
Adolescentes	11-14 años	2700
Adolescentes	15-17 años	3500
Adultos	≥18 años	3500
Mujeres embarazadas	≥18 años	3500
Mujeres en lactación	≥18 años	4000

1.2.2. Cadmio (Cd)

El Cd es un metal tóxico presente en el medio ambiente derivado de la actividad industrial y la agricultura. Este supone un peligro para la salud humana y animal, siendo la principal vía de exposición la ingesta de alimentos contaminados y el humo del tabaco. Su presencia en el cuerpo, donde se acumula con una vida media de 25-30 años, ha sido asociada con diversos tipos de cáncer, osteoporosis y daño hepático y renal al causar estrés oxidativo, entre otros (Genchi et al., 2020; Rubio et al., 2006).

La EFSA ha establecido como valor de referencia una ingesta semanal tolerable (IST o TWI) de 2,5 µg/kg de peso corporal/semana. Los valores de referencia, como la IST, representan la cantidad de un determinado contaminante que se podría consumir a través de los alimentos de forma crónica sin suponer un riesgo para la salud. Cabe destacar que los valores de referencia tienen en cuenta peso del individuo en kg, de forma que un peso mayor, resulta ser un carácter protector. De esta manera, los niños y personas mayores son, de forma general, los grupos poblaciones con más riesgo frente a la exposición a PTE.

3. Evaluación del riesgo en Toxicología Alimentaria

La Toxicología Alimentaria estudia los potenciales efectos perjudiciales para la salud derivados del consumo de alimentos, considerada la principal fuente de entrada de contaminantes ambientales al organismo. Esta se vale de la evaluación del riesgo para establecer si un determinado alimento en unas condiciones concretas supone un peligro (Cattaneo et al., 2023). En Europa, es la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) la principal responsable de esta evaluación, cuyos datos provienen a su vez de los organismos responsables en

1. Introducción

cada estado miembro, siendo en España la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). Las fases de la evaluación del riesgo son cuatro, y las podemos ver resumidas en la **Figura 4**.

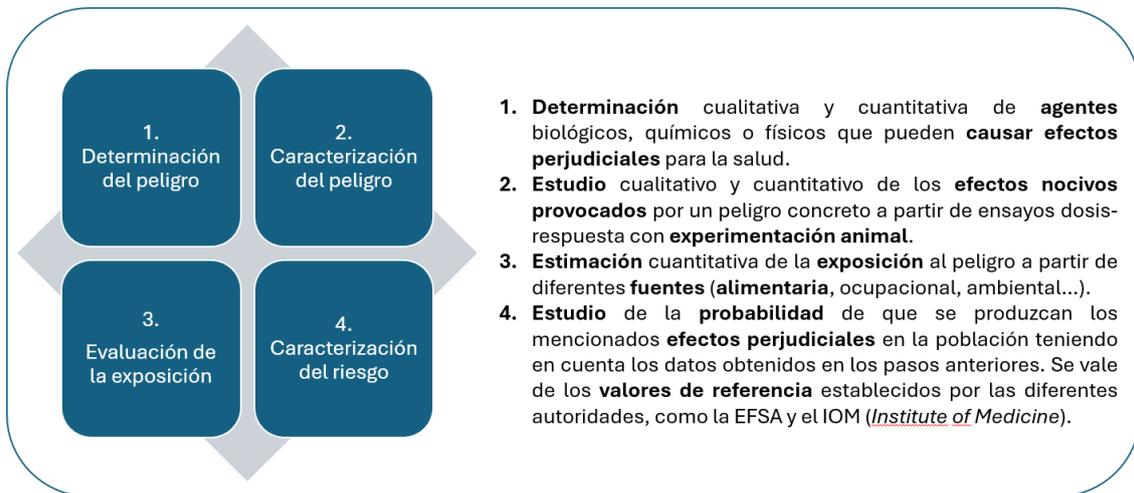


Figura 4. Fases de la evaluación del riesgo en Toxicología y sus principios.

Así, la evaluación del riesgo persigue conocer si la ingesta estimada (a través de las encuestas de consumo de cada país) supera los valores de referencia, puesto que a partir de la información obtenida se toman las decisiones pertinentes en cuanto a la gestión y comunicación del riesgo, con el objetivo de preservar la salud de la población, teniendo en cuenta el impacto de estas decisiones también a nivel económico, legal y social.

2. Hipótesis y objetivos

La creciente demanda y consumo de semillas emergentes a nivel global, como las semillas de chía y lino, plantea, en primer lugar, el interés por conocer el valor nutricional de sus minerales o elementos y, en segundo lugar, la preocupación sobre la posible presencia PTE.

En base a la evidencia científica, se prevé detectar concentraciones no despreciables de elementos nutricionalmente interesantes como el K y metales potencialmente tóxicos como el Cd en estas semillas (dos Santos et al., 2022; Rubio, González-Weller, et al., 2018; Şuvar et al., 2016), justificando la necesidad de llevar a cabo una evaluación nutricional y toxicológica de sus niveles y de la ingesta dietética derivada de su consumo en distintos escenarios.

En base a esta hipótesis, este trabajo tiene los siguientes objetivos:

1. Determinar la concentración de un mineral nutritivo (K) y un elemento tóxico (Cd) en semillas de chía y lino disponibles comercialmente en Europa comparando la producción ecológica versus convencional.
2. Estimar la contribución a la ingesta de referencia de K derivada del consumo recomendado de semillas de chía y lino.
3. Caracterizar el riesgo por presencia de Cd derivado del consumo recomendado y excesivo de semillas de chía y lino.

3. Material y métodos

3.1. Selección y tratamiento de muestras

3.1.1. Selección y características de las muestras

En este trabajo se analizaron 57 muestras de semillas de chía y lino adquiridas en canales de distribución al por menor en Europa (**Figura 5**).

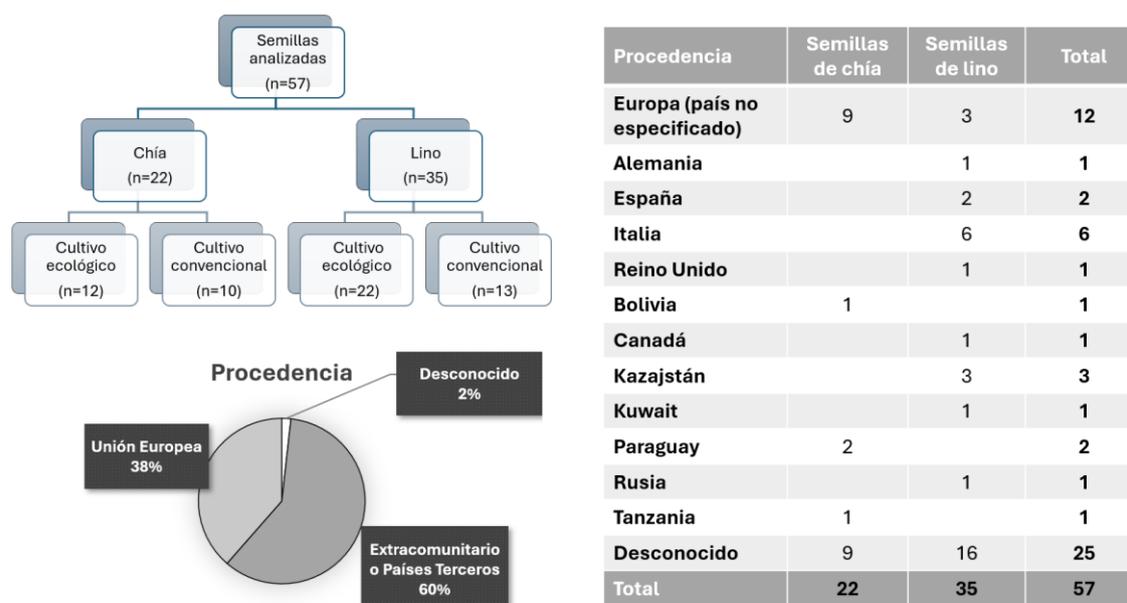


Figura 5. Características de las muestras analizadas en este trabajo.

Asimismo, según el etiquetado obligatorio, el contenido medio en nutrientes de las semillas de chía y lino se puede ver en las **Tablas 2 y 3**, respectivamente.

Tabla 2. Contenido medio en nutrientes en semillas de chía según el etiquetado de las muestras analizadas (n=22).

Nutriente	Cantidad media
Energía (kcal)	462
Energía (kJ)	1910
Grasas (g)	32,44
de las cuales saturadas (g)	3,40
Hidratos de carbono (g)	7,80
de los cuales azúcares (g)	0,86
Fibra (g)	32,08
Proteínas (g)	20,94
Sal (g)	0,08

3. Material y métodos

Tabla 3. Contenido medio en nutrientes en semillas de lino según el etiquetado de las muestras analizadas (n=35).

Nutriente	Cantidad media
Energía (kcal)	518
Energía (kJ)	2143
Grasas (g)	39,54
de las cuales saturadas (g)	3,69
Hidratos de carbono (g)	8,26
de los cuales azúcares (g)	1,25
Fibra (g)	27,36
Proteínas (g)	20,96
Sal (g)	0,09

3.1.2. Tratamiento de las muestras

Para el tratamiento de las muestras, por cada marca comercial y producto diferente se analizaron tres réplicas independientes.

Para ello, se pesaron en una balanza analítica 5 g de producto usando una espátula de plástico para evitar la transferencia de metales, utilizando cápsulas de porcelana (Staatlich, Berlín, Alemania) previamente esterilizadas a 800°C durante 24 h. Luego se incubaron en una estufa (Nabertherm, Lilienthal, Alemania) a 80°C durante 24 h para eliminar el agua, pesando posteriormente para obtener el peso seco de la muestra. A continuación, las muestras fueron incineradas usando un horno de mufla (Nabertherm, Lilienthal, Alemania) programado con una rampa de temperatura de 48 h para alcanzar 450°C, y se mantuvieron 24 h más a dicha temperatura (Rubio et al., 2017).

Debido al color grisáceo de las cenizas, indicador de la presencia residual de materia orgánica, se resuspendieron en unas gotas de ácido nítrico (HNO₃) concentrado (65 % v/v) (Sigma Aldrich, Taufkirchen, Alemania) para disolver la materia orgánica y se evaporó el disolvente en una placa calefactora, para finalmente realizar un segundo paso de incineración, con una rampa de temperatura de 12 h para alcanzar 450°C y manteniendo otras 12 h (González-Suárez et al., 2022). En la **Figura 6** se puede observar el aspecto de los diferentes tipos de muestras utilizadas antes y después de ambos pasos de incineración.

Una vez obtenidas las cenizas completamente blancas, se resuspendieron en ácido nítrico diluido (1,5 % v/v) y se filtraron, llevando a un volumen final de 25 mL. Se transfirió una alícuota a un tubo de polietileno y se guardó a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad hasta el momento del análisis (Rubio, Martínez, et al., 2018).

3. Material y métodos



Figura 6. Evaluación visual de los diferentes tipos de semillas utilizados antes y después de los dos pasos de incineración.

3.2. Método analítico

Las muestras tratadas se analizaron por espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES: *inductively coupled plasma–optical emission*) usando el ICP-OES Thermo Scientific iCAP PRO (Waltham, MA, USA) junto a un AutoSampler. En la **Tabla 4** podemos ver los parámetros operativos utilizados.

Tabla 4. Parámetros operativos utilizados con el equipo ICP-OES Thermo Scientific iCAP PRO (Waltham, MA, USA).

Parámetro	Valor utilizado
RF Power	1150 W
Nebulizer Gas Flow	0,5 L/min
Nebulizer Gas Pressure	0,2 L/min
Auxiliary Gas Flow	0,5 L/min
Cool Gas Flow	12,5 L/min
Pump Speed	45 rpm

Para el control de calidad se utilizaron materiales de referencia. Este método se basa en la determinación de los porcentajes de recuperación (PR), junto a los valores de los límites de detección (LD) y cuantificación (LC) y la longitud de onda utilizada para cada elemento (**Tabla 5**).

3. Material y métodos

Tabla 5. Parámetros del control de calidad del ICP-OES.

Elemento	Longitud de onda (nm)	LD (mg/L)	LC (mg/L)	Material de referencia	Concentración registrada (mg/kg)	Concentración certificada (mg/kg)	PR (%)
K	766,4	1,764	5,883	SRM 1548a Typical Diet	6970 ± 125	6858,5 ± 318	98,4
Cd	214,4	0,0007	0,002	SRM 1573a Tomato Leaves	1,40 ± 0,07	1,52 ± 0,04	92,3

LC: límite de cuantificación; LD: límite de detección; PR: porcentaje de recuperación.

3.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se hizo utilizando el *software* Prism 8 (GraphPad) y Microsoft Excel. Para el análisis se tuvieron en cuenta tanto el tipo de semilla analizada como tipo de producción (ecológica vs convencional).

Con respecto a los resultados analíticos obtenidos por debajo del límite de cuantificación, se realizó una imputación de valores, asociando el valor del LC. Este enfoque facilita la inclusión de dichas muestras en el cálculo del valor promedio de concentración de metales, lo cual puede resultar en una sobreestimación de la concentración real. El propósito de esta estrategia es ampliar el margen de seguridad en la evaluación del riesgo para la protección de la población.

En primer lugar, realizamos un análisis de estadística descriptiva de los siguientes parámetros: media aritmética, desviación estándar y valores mínimo y máximo. Posteriormente se analizó la distribución de los datos con el test de Kolmogorov-Smirnov y se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes para comparar si existían diferencias significativas entre las medias de los grupos.

3.4. Estimación de la ingesta y caracterización del riesgo

Se utilizó como referencia un adulto de 70 kg, para el que se calculó una ingesta diaria estimada (IDE, o EDI de sus siglas en inglés) (**Ecuación 1**) en dos escenarios de consumo. El primero consiste en un consumo diario de 15 g de semillas, considerado como la cantidad media de consumo recomendada por los fabricantes; el segundo consiste en un consumo excesivo fijado en 50 g/día. El cálculo de este segundo escenario responde a estudios previos que describen efectos positivos para la salud ante consumos superiores a los 15 g/día, concretamente a una reducción de la circunferencia de cintura, la disminución de triglicéridos en sangre y el descenso de los valores de presión arterial (Jin et al., 2012; Nieman et al., 2012).

3. Material y métodos

$$IDE = \text{Concentración del metal a estudiar} \left(\frac{mg}{kg} \right) \times \text{Cantidad de semilla consumida} \left(\frac{kg}{día} \right)$$

Ecuación 1. Fórmula utilizada para el cálculo de la Ingesta Diaria Estimada (IDE).

Posteriormente se calcularon los porcentajes de contribución a los valores de referencia establecidos por las diferentes autoridades para los dos elementos estudiados a partir de las IDEs en los dos escenarios de consumo (**Ecuación 2**). Para el K se llevó a cabo una evaluación nutricional, puesto que desempeña funciones vitales en el organismo, utilizando como valor de referencia la IA de 3500 mg/día establecida por la AESAN. Para el Cd se utilizó como referencia la IST fijada por la EFSA en 2,5 µg/kg de peso corporal/semana (EFSA, 2011).

$$\% \text{ de contribución} = \frac{IDE}{\text{Valor de referencia}} \times 100$$

Ecuación 2. Fórmula utilizada para el cálculo del porcentaje de contribución al valor de referencia para los metales estudiados.

Debido a que la caracterización del riesgo se hizo teniendo en cuenta solamente un alimento y no el total de la dieta, consideramos que existe riesgo si el porcentaje de contribución al valor de referencia supera el 20%.

4. Resultados y discusión

4.1. Niveles de metales en semillas

En la **Tabla 6** y **Figura 7** se recogen los valores descriptivos de las concentraciones de K que se han determinado en este estudio, en función del tipo de producción, diferenciando las semillas de cultivo convencional y ecológico. Sorprendentemente, se observa que las semillas de ambos tipos de origen ecológico poseen un menor contenido medio en K en comparación con su análogo de cultivo convencional. Sin embargo, no son estadísticamente significativas.

Tabla 6. Valores descriptivos de la concentración de K.

Semilla	Cultivo	N	Cmedia (mg/kg)	Cmáx (mg/kg)	Cmín (mg/kg)	Desv. Est.
Chía	Ecológico	12	5458	6503	4583	501,4
	Convencional	10	5978	8128	4933	1009
Lino	Ecológico	22	7149	9307	4604	1500
	Convencional	13	7487	9376	3000	1606

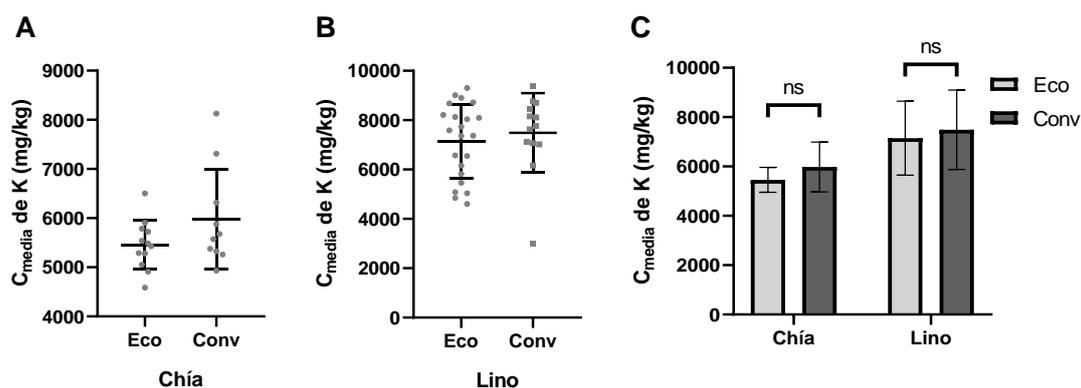


Figura 7. Concentración media de K presente en semillas de chí y lino. **(A)** C_{media} de K en semillas de chí. **(B)** C_{media} de K en semillas de lino. **(C)** Representación de la C_{media} en semillas de chí y lino estratificando por tipo de cultivo. Las barras de error representan la desviación estándar y se ha realizado una comparación de medias mediante la prueba no paramétrica t de Student. En **(A)** y **(B)**, la línea central representa la media y las barras de error la desviación estándar. Eco: cultivo ecológico; Conv: cultivo convencional.

Podemos observar que el contenido en K es mayor en las semillas de lino que en las de chí. Cabe destacar que, al eliminar la estratificación por grupos según tipo de cultivo, esta diferencia es estadísticamente significativa (**Figura 8**).

4. Resultados y discusión

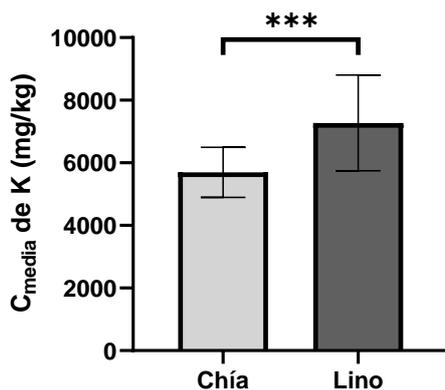


Figura 8. Concentración media de K en semillas de chía y lino sin segmentar por tipo de cultivo. Las barras de error representan la desviación estándar y se ha realizado una comparación de medias mediante la prueba no paramétrica t de Student ($p < 0.0001$).

En la **Tabla 7** y **Figura 9** se recogen los valores descriptivos de las concentraciones de Cd que se han determinado en este estudio, en función del tipo de producción, diferenciando las semillas de cultivo convencional y ecológico. Se observa que las semillas de ambos tipos de origen ecológico poseen un menor contenido medio en Cd en comparación con su análogo de cultivo convencional. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas. La desviación estándar de las muestras de chía de origen ecológico es cero porque se imputaron los doce valores al estar por debajo del límite de cuantificación, tal como se mencionó en material y métodos.

Tabla 7. Valores descriptivos de la concentración de Cd obtenida por el método analítico.

Semilla	Cultivo	N	C _{media} (mg/kg)	C _{máx} (mg/kg)	C _{mín} (mg/kg)	Desv. Est.
Chía	Ecológico	12	0,010	0,010	0,010	0
	Convencional	10	0,022	0,110	0,010	0,031
Lino	Ecológico	22	0,099	0,290	0,030	0,065
	Convencional	13	0,146	0,580	0,070	0,136

4. Resultados y discusión

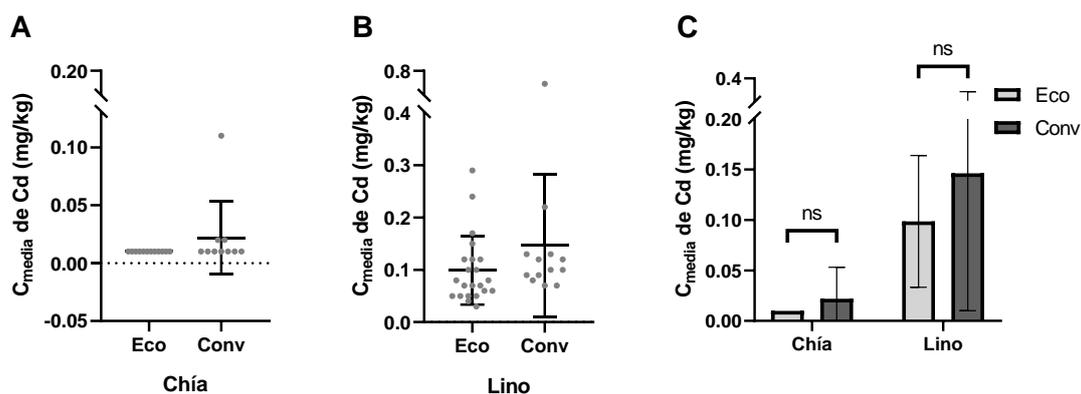


Figura 9. Concentración media de Cd presente en semillas de chía y lino. **(A)** Cmedia de Cd en semillas de chía. **(B)** Cmedia de Cd en semillas de lino. **(C)** Representación de la Cmedia en semillas de chía y lino estratificando por tipo de cultivo. Las barras de error representan la desviación estándar y se ha realizado una comparación de medias mediante la prueba no paramétrica t de Student. En **(A)** y **(B)**, la línea central representa la media y las barras de error la desviación estándar. Eco: cultivo ecológico; Conv: cultivo convencional.

Asimismo, el contenido en Cd es mayor en las semillas de lino que en las de chía. Al eliminar la estratificación por grupos según tipo de cultivo, esta diferencia es estadísticamente significativa (**Figura 10**).

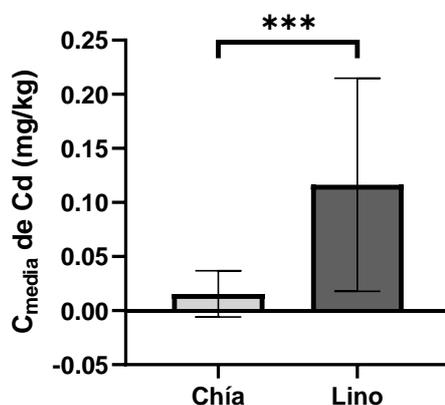


Figura 10. Concentración media de Cd en semillas de chía y lino sin segmentar por tipo de cultivo. Las barras de error representan la desviación estándar y se ha realizado una comparación de medias mediante la prueba no paramétrica t de Student ($p < 0.0001$).

Los elevados valores de desviación estándar en todos los grupos se pueden deber a la diversidad de marcas comerciales estudiadas, así como a variaciones en sus respectivos lugares de cultivo (ver **Figura 5**), que juegan un papel esencial en la composición del suelo y, por lo tanto, podría tener un efecto en los niveles de

4. Resultados y discusión

metales detectados en las muestras. Por ello, decidimos hacer un análisis comparando las muestras cultivadas en Europa vs las de origen extracomunitario. En primer lugar, podemos observar que son más las muestras cultivadas fuera que dentro de la Unión Europea (**Tabla 8**). No obstante, no existen diferencias significativas en el contenido en los metales estudiados según el lugar de cultivo de las semillas (**Figura 11**). Adicionalmente, sería interesante realizar un estudio con un tamaño muestral representativo de los diferentes países productores de estas semillas, puesto que la variabilidad de los resultados obtenidos en este estudio podría indicar que el país o zona geográfica a pequeña escala es determinante en el contenido metálico de las mismas. Resulta llamativo que 25 de las 75 muestras estudiadas, es decir un 33,33%, no especifiquen el país de origen cuando son cultivadas fuera de la Unión Europea (ver **Figura 5**). Sin embargo, el etiquetado obligatorio no exige la declaración de este dato actualmente (salvo en algunos productos alimentarios, como la miel y los productos cárnicos, entre otros).

Tabla 8. Contenido medio en K y Cd en semillas de chía y lino según el país de cultivo.

	Procedencia	N	[K] (mg/kg)	[Cd] (mg/kg)
Chía	UE	9	5763,13	0,02
	No UE	13	5646,47	0,01
Lino	UE	13	7117,23	0,09
	No UE	21	7355,17	0,13

UE: Unión Europea; No UE: cultivo extracomunitario.

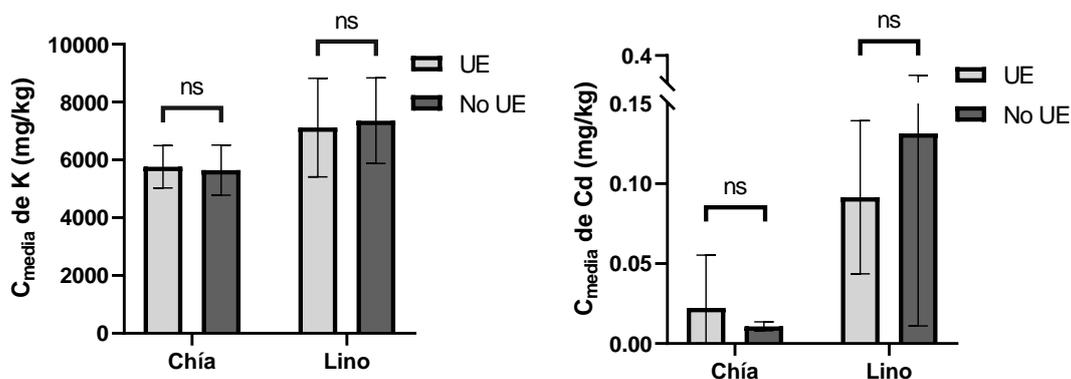


Figura 11. Concentración media de K y Cd presente en semillas de chía y lino según el país de cultivo. Las barras de error representan la desviación estándar y se ha realizado una comparación de medias mediante la prueba no paramétrica t de Student. UE: cultivo dentro de la Unión Europea; No UE: cultivo extracomunitario.

En la **Tabla 9** se comparan los niveles de ambos metales determinados en este estudio con resultados previos descritos en la bibliografía (Gu et al., 2021; Rubio, González-Weller, et al., 2018; Şuvar et al., 2016; *U.S. Department of Agriculture*, 2021). Al compararlos, podemos observar que existe una gran variabilidad, que se

4. Resultados y discusión

podría explicar por diferencias en los métodos analíticos, o bien por la variada procedencia geográfica de las muestras, como se ha discutido previamente en este trabajo. No obstante, cabe destacar que la concentración de K en ambos tipos de semillas tiene una tendencia incremental al comparar las medidas en orden cronológico.

Tabla 9. Comparativa de las concentraciones medias de K y Cd en este estudio y según otros autores.

Semilla	Metal	Suvar et al. (2016)	Rubio et al. (2018)	USDA (2021)	Gu et al. (2021)	Este estudio
Chía	K (mg/kg)	1250	2853	4070	-	5694
	Cd (mg/kg)	0,020	0,01	-	0,013	0,015
Lino	K (mg/kg)	1800	2177	8130	-	7275
	Cd (mg/kg)	0,262	0,1	-	0,49	0,116

En resumen, las semillas de lino analizadas poseen una mayor concentración de los metales estudiados que las semillas de chía (K: 7275±1526 mg/kg vs 5694±799 mg/kg; Cd: 0,116±0,099 vs 0,015±0,021). No obstante, no existen diferencias significativas según el método de cultivo aplicado en ambos tipos de semilla (ecológico vs convencional), ni al comparar la zona geográfica del cultivo (Europa vs extracomunitario). Resulta llamativo que el consumo de K y Cd no parece verse afectado por la técnica agraria empleada, de forma que el alimento de origen ecológico en estos casos no parece suponer una alternativa mejor que su análogo de cultivo tradicional. Esto es importante para los consumidores, puesto que existe una mayor preferencia de la versión ecológica por la asociación generalizada de que estos alimentos poseen mejores propiedades, a pesar de que también llevan asociado un coste económico mayor en su adquisición.

4.2. Estimación de la ingesta diaria estimada

En este trabajo hemos hecho la estimación de la ingesta de ambos metales en dos situaciones de consumo. En la primera, hemos aplicado el consumo recomendado por la mayoría de los fabricantes, de 15 g/día y, en segundo lugar, un consumo considerado excesivo, de 50 g/día (**Tabla 10**).

4. Resultados y discusión

Tabla 10. Estimación de la ingesta diaria estimada de K y Cd en dos escenarios de consumo, recomendado vs excesivo.

Semilla	Metal	Cmedia (mg/kg)	IDE (mg/día)	
			15 g/día	50 g/día
Chía	K	5694	85,41	284,7
	Cd	0,015	0,000225	0,00075
Lino	K	7275	109,125	363,75
	Cd	0,116	0,00174	0,0058

Debido a que el K se considera un elemento nutritivo, utilizamos estos datos para calcular el porcentaje de contribución de las semillas a la IA de 3500 mg/día propuesta para un individuo adulto según la AESAN (**Tabla 11**). No obstante, ninguno de los escenarios de consumo para ambas semillas supone al menos un 15% de la ingesta diaria recomendada, de forma que no pueden ser considerados fuente de K.

Tabla 11. Contribución a la IA de K propuesta por la AESAN para individuos adultos a partir de semillas de chía y lino en dos escenarios de consumo.

Semilla	[K] (mg/kg)	IDE (mg/día)		% contribución IA	
		15 g	50 g	15 g	50 g
Chía	5694	85,41	284,7	2,4	8,1
Lino	7275	109,125	363,75	3,1	10,4

IA (K): 3500 mg/día.

4.3. Caracterización del riesgo

En este trabajo hemos llevado a cabo una caracterización del riesgo para la exposición a Cd, puesto que es un PTE. Para ello hemos utilizado las concentraciones medias obtenidas de forma analítica y se ha considerado que el consumidor es un individuo adulto sano con un peso de 70 kg. Asimismo, se ha empleado el valor de referencia para Cd propuesto por la EFSA, la IST de 2,5 µg Cd/kg de peso corporal/semana, de forma que el valor de referencia ajustado para este peso son 175 µg Cd/semana (**Tabla 12**).

Las semillas de chía contribuyen en un 3% a la IST de Cd, por lo que la ingesta de Cd a partir de esta fuente dietética no representa un riesgo para la salud en ninguna de los dos escenarios de consumo previstos.

Sin embargo, el consumo excesivo de semillas de lino podría llegar a presentar un riesgo para la salud puesto que supera el 20% de contribución a la IST de Cd en esta caracterización parcial (no es un estudio de dieta total). Cabe destacar que para la caracterización del riesgo hay que evaluar el conjunto de la dieta individuo, teniendo en cuenta que otros alimentos, como las verduras de hoja y tubérculos, entre otros, pueden contribuir significativamente a la IST de Cd.

4. Resultados y discusión

Consecuentemente, habría que realizar una caracterización del riesgo de la dieta total para investigar en profundidad la situación actual con respecto a este peligro.

Sin embargo, como medida preventiva en base a este estudio preliminar, los gestores y comunicadores del riesgo podrían plantearse invitar a la población, mediante campañas de educación e información, a hacer un uso moderado de este alimento que, como observamos en la introducción, aporta múltiples beneficios, pero su consumo excesivo puede conllevar un deterioro de la salud a largo plazo. Para ello es relevante colaborar con la industria, ya que el etiquetado de estos productos puede incorporar menciones al respecto de estas dosis moderadas. Adicionalmente, habría que estudiar los patrones de consumo de estas semillas en otros grupos etarios susceptibles, como los niños y personas mayores, puesto que el riesgo será más elevado.

Tabla 12. Caracterización del riesgo por exposición a Cd vehiculada por semillas de chía y lino en un individuo adulto de 70 kg.

Semilla	[Cd] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	IDE ($\mu\text{g}/\text{día}$)		ISE ($\mu\text{g}/\text{día}$)		% contribución IST	
		15 g	50 g	15 g	50 g	15 g	50 g
Chía	15	0,225	0,750	1,575	5,250	0,9	3,0
Lino	116	1,740	5,800	12,180	40,600	7,0	23,2

IST (Cd): $2,5 \mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/semana. Peso corporal de un adulto medio: 70 kg. ISE: ingesta semanal estimada.

Finalmente, cabe destacar que esta caracterización del riesgo se ha realizado teniendo en cuenta solamente un metal tóxico, el Cd. Sin embargo, es previsible que estas semillas aporten cantidades variables de otros metales, tanto nutritivos como potencialmente tóxicos, por lo que resulta necesario monitorizar y regular el contenido medio en metales en estos alimentos de consumo emergente, estimar la exposición dietética a los distintos metales derivada en distintos escenarios de consumo y realizar una evaluación de los posibles riesgos asociados.

Por ello, apostamos por la continuación de este estudio, ya que la población toma decisiones de consumo siguiendo las tendencias lideradas por la industria, acompañadas frecuentemente en el empaquetado y propaganda de declaraciones saludables.

5. Conclusiones

1. Las semillas de lino poseen un mayor contenido de K y Cd que las semillas de chía.
2. Existe una alta variabilidad en las concentraciones medias de K y Cd, presumiblemente por la influencia del país de cultivo y, por tanto, en la composición metálica del suelo.
3. No existen diferencias significativas en el contenido en K y Cd según el área geográfica de cultivo (Unión Europea vs extracomunitario) para ambos tipos de semilla.
4. No existen diferencias significativas en el contenido en K y Cd según el tipo de cultivo (ecológico vs convencional) entre ambos tipos de semillas.
5. El consumo diario moderado de semillas de chía y lino no aporta el 15% de la ingesta diaria recomendada de K, por lo que no pueden ser consideradas buenas fuentes dietéticas de K.
6. La cantidad de Cd a la que el consumidor habitual se expone por el consumo de 15 g/día de semillas de chía y/o lino no supone un riesgo para la salud en individuos adultos sanos.
7. El consumo excesivo de semillas de lino podría suponer un riesgo para la salud, ya que la exposición dietética derivada del consumo de 50 g/día puede llegar a aportar hasta un 23% de la IST de Cd en individuos adultos.
8. Para garantizar la seguridad alimentaria y minimizar los riesgos en los consumidores, se recomienda promover el establecimiento de niveles máximos de metales en estas semillas de consumo emergente.

6. Bibliografía

- Cattaneo, I., Kalian, A. D., Di Nicola, M. R., Dujardin, B., Levorato, S., Mohimont, L., Nathanail, A. V., Carnessechi, E., Astuto, M. C., Tarazona, J. V., Kass, G. E. N., Liem, A. K. D., Robinson, T., Manini, P., Hogstrand, C., Price, P. S., & Dorne, J. L. C. M. (2023). Risk Assessment of Combined Exposure to Multiple Chemicals at the European Food Safety Authority: Principles, Guidance Documents, Applications and Future Challenges. *Toxins*, 15(1), 40. <https://doi.org/10.3390/TOXINS15010040>
- dos Santos, N. K. V., dos Santos, L., Damin, I. C. F., Vale, M. G. R., & Dessuy, M. B. (2022). Multielement determination of metals in edible seeds by HR-CS GF AAS and direct analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 111, 104625. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.104625>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3782. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17113782>
- 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*, 12(16), 8044. <https://doi.org/10.3390/APP12168044>
- Gu, S. Y., Shin, H. C., Kim, D. J., Park, S. U., & Kim, Y. K. (2021). The content and health risk assessment of micro and toxic elements in cereals (oat and quinoa), legumes (lentil and chick pea), and seeds (chia, hemp, and flax). *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103881. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2021.103881>
- Henufood (Fuente: Gil Hernández 2005). (2012). *Nutrición en la edad adulta*. <https://www.henufood.com/nutricion-salud/consigue-una-vida-saludable/nutricion-adulta/index.html#superior>
- Jin, F., Nieman, D. C., Sha, W., Xie, G., Qiu, Y., & Jia, W. (2012). Supplementation of Milled Chia Seeds Increases Plasma ALA and EPA in Postmenopausal Women. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(2), 105-110. <https://doi.org/10.1007/S11130-012-0286-0/FIGURES/2>

6. Bibliografia

- Khalesi, S., Irwin, C., & Schubert, M. (2015). Flaxseed Consumption May Reduce Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials, . *The Journal of Nutrition*, 145(4), 758-765. <https://doi.org/10.3945/JN.114.205302>
- Lira, M. M., Oliveira Filho, J. G. de, Sousa, T. L. de, Costa, N. M. da, Lemes, A. C., Fernandes, S. S., & Egea, M. B. (2023). Selected plants producing mucilage: Overview, composition, and their potential as functional ingredients in the development of plant-based foods. *Food Research International*, 169, 112822. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112822>
- Melo, D., MacHado, T. B., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). Chia seeds: an ancient grain trending in modern human diets. *Food & Function*, 10(6), 3068-3089. <https://doi.org/10.1039/C9FO00239A>
- Nandi, I., & Ghosh, M. (2015). Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 5(2), 129-136. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2015.03.001>
- Nieman, D. C., Gillitt, N., Jin, F., Henson, D. A., Kennerly, K., Shanely, R. A., Ore, B., Su, M., & Schwartz, S. (2012). Chia seed supplementation and disease risk factors in overweight women: a metabolomics investigation. *Journal of alternative and complementary medicine (New York, N.Y.)*, 18(7), 700-708. <https://doi.org/10.1089/ACM.2011.0443>
- Palmer, B. F., & Clegg, D. J. (2016). Physiology and pathophysiology of potassium homeostasis. *Advances in Physiology Education*, 40(4), 480-490. <https://doi.org/10.1152/ADVAN.00121.2016/ASSET/IMAGES/LARGE/ZU10041630520007.JPEG>
- Pan, A., Sun, J., Chen, Y., Ye, X., Li, H., Yu, Z., Wang, Y., Gu, W., Zhang, X., Chen, X., Wendy, D. W., Liu, Y., & Lin, X. (2007). Effects of a Flaxseed-Derived Lignan Supplement in Type 2 Diabetic Patients: A Randomized, Double-Blind, Cross-Over Trial. *PLOS ONE*, 2(11), e1148. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0001148>
- Patade, A., Devareddy, L., Lucas, E. A., Korlagunta, K., Daggy, B. P., & Arjmandi, B. H. (2008). Flaxseed Reduces Total and LDL Cholesterol Concentrations in Native American Postmenopausal Women. *Journal of Women's Health*, 17(3), 355-366. <https://doi.org/10.1089/JWH.2007.0359>

6. Bibliografía

- Rubio, C., González-Weller, D., Caballero, J. M., Romano, A. R., Paz, S., Hardisson, A., Gutiérrez, Á. J., & Revert, C. (2018). Metals in food products with rising consumption (brewer's yeast, wheat bran, oat bran, sesame seeds, flaxseeds, chia seed). A nutritional and toxicological evaluation. *Journal of Functional Foods*, *48*, 558-565. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.07.051>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2005.01.008>
- Rubio, C., Martínez, C., Paz, S., Gutiérrez, A. J., González-Weller, D., Revert, C., Burgos, A., & Hardisson, A. (2018). Trace element and toxic metal intake from the consumption of canned mushrooms marketed in Spain. *Environmental Monitoring and Assessment*, *190*, 237. <https://doi.org/10.1007/S10661-018-6614-6/TABLES/8>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.01.064>
- Shim, Y. Y., Gui, B., Arnison, P. G., Wang, Y., & Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *38*(1), 5-20. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2014.03.011>
- Şuvar, S., Bleiziffer, R., Podea, P., Iordache, A., Voica, C., Zgavarogea, R., & Culea, M. (2016). A Comparative Mass Spectrometric Study of Fatty Acids and Metals in Some Seed Extracts. *European Journal of Mass Spectrometry*, *22*(5), 253-260. <https://doi.org/10.1255/EJMS.1448>
- Teoh, S. L., Lai, N. M., Vanichkulpitak, P., Vuksan, V., Ho, H., & Chaiyakunapruk, N. (2018). Clinical evidence on dietary supplementation with chia seed (*Salvia hispanica* L.): a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews*, *76*(4), 219-242. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUX071>
- U.S. Department of Agriculture. (2021). *FoodData Central*. <https://fdc-nal.usda.gov/accedys2.bbt.ull.es/fdc-app.html#/>
- Yamada, S., & Inaba, M. (2021). Potassium Metabolism and Management in Patients with CKD. *Nutrients* *2021*, Vol. 13, Page 1751, *13*(6), 1751. <https://doi.org/10.3390/NU13061751>