

Trabajo Fin de Grado

Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Semillas de quinoa: aspectos nutricionales y saludables

Quinoa seeds: nutritional and health aspects

Autor/es

Paula Blasco Rubio

Director/es

Agustín Ariño Moneva

Facultad de Veterinaria

Universidad de Zaragoza

Curso 2021 – 2022

ÍNDICE

I.	RESUMEN / ABSTRACT	2
II.	INTRODUCCIÓN	4
III.	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	7
IV.	METODOLOGÍA	8
V.	RESULTADOS.....	10
5.1.	Aspectos nutricionales y saludables de la quinoa.....	10
5.1.1.	Valor energético	10
5.1.2.	Proteínas.....	10
5.1.3.	Carbohidratos y fibra	14
5.1.4.	Lípidos.....	17
5.1.5.	Vitaminas	17
5.1.6.	Minerales.....	19
5.1.7.	Componentes bioactivos	22
5.2.	Factores antinutricionales de la quinoa.....	25
5.2.1.	Saponinas.....	25
5.2.2.	Ácido fítico	27
5.2.3.	Taninos	29
5.2.4.	Inhibidores de proteasas	29
5.2.5.	Oxalatos	30
5.3.	Innovación en el mercado y productos a base de quinoa.....	30
5.3.1.	La quinoa como matriz	31
5.3.2.	La quinoa como ingrediente y complemento alimenticio	31
VI.	CONCLUSIONES / CONCLUSIONS	33
VII.	VALORACIÓN PERSONAL.....	34
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	35

I. RESUMEN / ABSTRACT

RESUMEN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta perteneciente a la familia Chenopodioideae, originaria de los Andes (América del Sur). Se trata de un pseudocereal de alto valor nutricional, puesto que es rico en proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y minerales, además de caracterizarse por un excelente equilibrio de aminoácidos esenciales. En efecto, la quinoa posee, por lo general, un contenido proteico más elevado que los cereales comunes, rondando el 13,8-14,1%, y se diferencia de ellos en que es apta para celiacos debido a que carece de gluten. El perfil aminoacídico de las semillas de quinoa resulta ideal, puesto que incluye cantidades más que suficientes de aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y el mantenimiento de diferentes actividades metabólicas, aparte de estar más equilibrado que el de la mayoría de los cereales, aproximándose a los valores recomendados por la FAO. Las semillas de quinoa presentan altos niveles de lisina (17,13%), ácido glutámico (12,8%) y ácido aspártico (10,68%), entre otros. Por otro lado, a la quinoa se le atribuyen efectos beneficiosos en la digestión y el sistema gastrointestinal debido al contenido en carbohidratos y fibra. Además, cabe destacar el aporte de lípidos de buena calidad, como el ácido oleico (19,7-29,5%), o el linoleico (49,0-56,4%), de numerosas vitaminas (grupo B, tocoferoles), minerales como el calcio o el magnesio entre muchos otros, así como compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y péptidos bioactivos. Todas estas características y propiedades de la quinoa le hacen merecedora del apelativo "uno de los granos del siglo XXI", y han logrado atraer la atención global como alimento funcional, por lo que no es de extrañar que cada vez vaya cobrando más importancia en el mercado y se lleven a cabo investigaciones sobre cómo incorporar quinoa a alimentos, o incluso la creación de alimentos funcionales con la quinoa como matriz.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a plant belonging to the Chenopodioideae family, native to the Andes (South America). It is a pseudocereal of high nutritional value, since it is rich in proteins, lipids, fiber, vitamins and minerals, in addition to being characterized by an excellent balance of essential amino acids. In fact, quinoa generally has a higher protein content than common cereals, around 13.8-14.1%, and differs from them in that it is suitable for coeliacs because it lacks gluten. The amino acid profile of quinoa seeds is ideal, since it includes more than enough essential amino acids necessary for the growth and maintenance of different metabolic activities, apart from being more balanced than that of most cereals, approaching the values recommended by FAO. The quinoa seeds have high levels of lysine (17.13%), glutamic acid (12.8%) and aspartic acid (10.68%), among others. On the other hand, beneficial effects related to digestion and the gastrointestinal system are attributed to the carbohydrate and fiber content of quinoa. In addition, it is worth mentioning the contribution of good quality lipids, such as oleic acid (19.7-29.5%), or linoleic acid (49.0-56.4%), numerous vitamins (B group, tocopherols), minerals such as calcium or magnesium among many others, as well as phenolic compounds with antioxidant properties and bioactive peptides. All these characteristics and properties have earned quinoa the nickname of "one of the grains of the XXI century" and managed to attract global attention as a functional food. Therefore, it is not surprising that quinoa is becoming increasingly important in the market and research is carried out on how to incorporate quinoa into food, or even the creation of functional foods with quinoa as a matrix.

II. INTRODUCCIÓN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta herbácea, más concretamente un tetraploide y un cultivo halofítico, es decir, que se adapta a ambientes salinos. Forma parte de la familia Amaranthaceae, de las amarantáceas, subfamilia Chenopedioideae y género *Chenopodium*, que tiene numerosas especies (Maradini-Filho *et al.*, 2017). Pese a tener características similares a las de los cereales no es una gramínea (Álvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010), sino una planta dicotiledónea con aspectos botánicos tales como la presencia de inflorescencias de tipo panícula (Angeli *et al.*, 2020), como se puede apreciar en la Figura 1.



Figura 1. Panículas de cultivares de quinoa de las montañas de Puno, Perú (Tapia, 2015).

Desde el punto de vista químico, la quinoa posee un excepcional balance nutricional de proteínas y lípidos, compuestos sulfurados, aminoácidos y lisina, lo que le ha ganado los apelativos de “pseudocereal” e incluso de “pseudosemilla” oleaginosa (Vega-Gálvez *et al.*, 2010). Por término medio, la semilla cruda de quinoa contiene 11,5% de humedad, 49,2% de carbohidratos, 13,8% de proteínas, 5,6% de lípidos y 7,9% de fibra, con un valor energético de 306 kcal/100 g (Base de Datos Española de Composición de Alimentos - BEDCA, 2022).

El cultivo de la quinoa remonta al año 5000 A.C., y se realizó de manera prácticamente exclusiva en la región andina, en Sudamérica, hasta aproximadamente el 3000 A.C. La importancia de la quinoa llegó a ser tal que los incas la consideraban un alimento sagrado. No obstante, con la llegada de los españoles a América, el papel de la quinoa cambió. Los españoles calificaron el alimento como “no cristiano” debido a su relación con aspectos de la cultura y religión indígena; de ahí su intención de sustituirlo por otros cereales europeos. Por esta razón, la producción y el consumo de la quinoa se vieron afectados, notablemente en asentamientos urbanos, mientras que se continuó cultivando en las tierras comunales, denominadas “aynokas” (Angeli *et al.*, 2020). A su vez, esto supuso el desarrollo de nuevas variedades de quinoa, que ofrecían distintas

propiedades nutricionales y aspectos visuales, dependiendo de la localización de dichas aynokas (González *et al.*, 2015).

Durante las últimas décadas, la quinoa ha conocido un auge sin precedentes, llegando a aumentar exponencialmente su producción en el año 2013, que fue considerado el año mundial de la quinoa (FAO y CIRAD, 2015). Su reconocimiento a nivel mundial no solo se debe a sus propiedades nutricionales y funcionales, sino también a su capacidad de crecer incluso en condiciones climáticas adversas, así como en tierras marginales. La quinoa representa una esperanza en zonas en las que la seguridad alimentaria no está garantizada, al tolerar heladas, salinidad y sequías.

Por otro lado, debido a la particular plasticidad de esta planta y sus mecanismos de respuesta optimizados para adaptarse al medio (flexibilidad morfológica, regulación del crecimiento, flexibilidad fenotípica), pueden producirse alteraciones en la composición de la planta (Angeli *et al.*, 2020). Ya en el siglo XVI se hacía alusión a su resistencia, tal y como reportó Cieza de León en 1560: “Hay muy poco o casi nada de maíz en estas tierras [sur de Colombia]; debido a las bajas temperaturas, solo se encuentra quinoa” (Tapia, 2015).

Debido a su alta variabilidad genética, la quinoa es capaz de prosperar en diferentes condiciones ambientales, lo que a su vez influye en su variabilidad genética. En 2013 se publicó una lista denominada “Descriptors for quinoa and wild relatives” (en español: “Descriptores para la quinoa y parientes silvestres”) (Bioversity International y FAO, 2013). Se evaluaron los valores nutricionales y las variables agroindustriales de 555 tipos de quinoa con el objetivo de promocionar su uso en productos procesados a base de quinoa. La diversidad genética de la quinoa preservada en diferentes países es relativamente alta, considerando el número de accesiones que se encuentran en las colecciones y su origen ecológico y geográfico. Más del 88% de las accesiones se encuentran en bancos de germoplasma pertenecientes a la región de los Andes, como es lógico, pues de dicha zona surgió esta planta.

No obstante, esto no significa que el uso de los recursos sea equilibrado: el grado de uso de estas colecciones es inadecuado y se halla muy por debajo de su potencial, ya que, pese a los esfuerzos realizados, no todos los bancos de germoplasma en la región andina poseen las condiciones óptimas de almacenamiento para asegurar la preservación a medio y largo plazo del germoplasma (conjunto de genes que se transmite por la reproducción a la descendencia mediante gametos o células reproductoras) (Rojas *et al.*, 2015).

Existen tres grandes clases de semillas de quinoa: roja, blanca y negra (Figura 2), cada una de ellas con sus similitudes y sus particularidades, lo que representa un potencial que explotar a

nivel industrial y de marketing. La principal diferencia entre estos tipos de semillas es su contenido en pigmentos, siendo las betacianinas (en concreto la betanina y la isobetanina) los pigmentos mayoritarios de las semillas rojas y negras. Las semillas de coloración más oscura poseen una concentración más elevada de fenoles y actividad antioxidante superior (Tang *et al.*, 2015).



Figura 2. De arriba abajo y de izquierda a derecha: semillas de quinoa blancas, mezcla de los tres tipos de semillas, semillas rojas y semillas negras.

La domesticación y la selección de la quinoa llevó siglos, y las variedades actuales son fácilmente reconocibles por el escaso porcentaje de semillas “ayaras” o “ajaras” (semillas de quinoa negras silvestres), como se puede observar en la Figura 3, donde este tipo de semillas se encuentra en mucha menor cantidad en las muestras más recientes (Tapia, 2015).

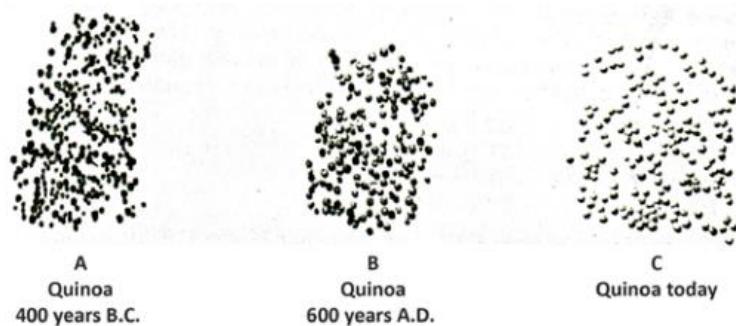


Figura 3. Muestras de restos arqueológicos de quinoa comparados con el cultivo actual. Esta figura representa quinoa de diferentes épocas tras la prueba de carbono 14. A: Quinoa 400 años A.C., B: Quinoa 600 años A.C., C: Quinoa hoy. Se puede observar que el porcentaje de semillas de quinoa negra salvaje disminuye progresivamente en las muestras más recientes (Tapia, 2015).

Este hecho puede explicar por qué las semillas más comunes en el mercado son las blancas. No obstante, siguen existiendo las tres grandes clases de semillas de quinoa mencionadas anteriormente, y se comercializan tanto por separado como combinadas (Figura 2).

III. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Como hemos podido valorar a lo largo del apartado anterior, la quinoa representa una fuente indiscutible de numerosos componentes necesarios para el correcto funcionamiento del organismo. Pese a sus abundantes cualidades y su alto valor nutritivo, hoy en día su consumo sigue viéndose limitado por el desconocimiento general de sus propiedades por parte de gran parte de la población, además de por su elevado coste de importación, razón por la cual su comercialización se está viendo mermada.

Por estos motivos, el presente Trabajo de Fin de Grado tiene los objetivos de:

1. Realizar un análisis de los componentes de las semillas de quinoa, con el fin de destacar su valor nutricional;
2. Evaluar el impacto de dichos componentes nutricionales en la salud de los consumidores a nivel cardiovascular, gastrointestinal, metabólico, etc.;
3. Describir procesos o tratamientos susceptibles de incrementar el valor nutritivo de las semillas de quinoa;
4. Estudiar productos que contengan o estén fabricados a base de semillas de quinoa, con el fin de evaluar su complementación y/o sinergia con otros alimentos o ingredientes, así como sus propiedades nutricionales y saludables.

IV. METODOLOGÍA

Fuentes de información:

Para llevar a cabo esta revisión bibliográfica, se han empleado distintas fuentes de información y herramientas, tales como:

- Bases de datos y portales científicos como PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Scopus, ResearchGate, etc.;
- Bases de datos de organismos oficiales: BEDCA (Base de Datos Española de Composición de Alimentos), AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición), EFSA (European Food Safety Authority), USDA (U.S. Department of Agriculture), etc.;
- Libros, revistas, manuales o soportes científicos similares;
- Alcorze, Google Scholar y otros buscadores académicos;
- Repositorio institucional (Zaguán) y el catálogo de la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza (BUZ).

Estrategias de búsqueda y criterios de selección:

La elaboración de este trabajo se ha efectuado en base a la metodología que se especifica a continuación:

- Revisiones bibliográficas, estudios, artículos y páginas web generales sobre el tema a tratar.
- Artículos científicos más específicos. Se tuvo en cuenta la clasificación por categorías de las revistas y su índice de impacto, teniendo en cuenta el Journal Citation Reports de Clarivate Analytics y el Scimago Journal & Country Rank (Scimago Institutions Rankings), atendiendo fundamentalmente a las categorías “Food Science & Technology” y “Nutrition and Dietetics”. De este modo, se escogieron aquellos artículos cuyas fuentes se hallaban en el primer o segundo cuartil (Q1 y Q2, respectivamente). Asimismo, se tuvo en consideración el número de veces que se citó el artículo en cuestión.
- Fueron descartados los artículos que no estuviesen a texto completo.
- La búsqueda se restringió a los últimos diez años (intervalo de 2010 a 2022) con el objetivo de seleccionar la información más actual y pertinente, y de esta manera evitar mencionar datos obsoletos o anticuados.

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados con el tema “Semillas de quinoa: aspectos nutricionales y saludables” y publicados durante los últimos diez años. Las estrategias de búsqueda incluyen términos específicos como: “quinoa”, “semillas de quinoa”, “pseudocereal”, “quinoa composition”, “quinoa seeds composition”, “quinoa seeds”,

“quinoa grains”, “quinoa nutritional value”, “quinoa health”, “quinoa nutrition”, “superalimento”, “health”, “nutritional value”, “quinoa antinutritional compounds”, “quinoa tannins”, “quinoa oxalates”, “quinoa proteins”, “quinoa carbohydrates”, “quinoa lipids”, “quinoa fat composition”, “quinoa vitamins”, “quinoa minerals”, “quinoa prolamin”, “quinoa fiber”, “quinoa phenolic”, “quinoa flavonoid”, “quinoa antioxidant”, “quinoa saponin”, “quinoa phytic acid”, “quinoa phytate”, “quinoa supplement”, “quinoa food”, “quinoa foods”, “quinoa ingredient”, “white, black and red quinoa”, “white quinoa seeds”, “black quinoa seeds”, “red quinoa seeds”, “white, black and red quinoa seeds”.

V. RESULTADOS

5.1. Aspectos nutricionales y saludables de la quinoa

5.1.1. Valor energético

La quinoa posee un excepcional equilibrio de proteínas, grasas y carbohidratos (fundamentalmente almidón). Como se puede ver en la Tabla 1, 100 g de quinoa aportan una energía total de 1276 kJ según la BEDCA (2022) y 1540 kJ según la USDA (2019). Estos valores son similares a los del trigo entero (100 g): 1310 kJ (BEDCA, 2022) y 1390 kJ (USDA, 2019).

5.1.2. Proteínas

Aún hoy en día sigue siendo complicado, en ciertas partes del mundo, incluir proteínas de alto valor nutritivo en la dieta, especialmente para personas que no consumen proteína animal. Incluso si el aporte de proteínas proveniente de legumbres, cereales, y otras fuentes es equilibrado, puede persistir la falta de algunos aminoácidos esenciales, y, por ende, la prevalencia de desnutrición.

Los pseudocereales como la quinoa son fuentes de proteína, cuentan con una composición de aminoácidos ideal y poseen péptidos bioactivos que en numerosas ocasiones se extraen para contribuir al tratamiento de enfermedades crónicas (Usman *et al.*, 2022).

Las proteínas y los aminoácidos constituyentes juegan un papel fundamental en la formación y mantenimiento de tejidos, en la síntesis de enzimas, hormonas y anticuerpos, suministro de energía y regulación de procesos metabólicos. Los aminoácidos, como metionina y cisteína, aportan compuestos azufrados al organismo. Son necesarios ya que están involucrados en el transporte de triglicéridos, colesterol, fosfolípidos y vitaminas liposolubles, todo esto en forma de lipoproteínas (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

En la Tabla 1 se muestra la composición del grano de quinoa cruda. El contenido en proteína de la quinoa es, por lo general, más elevado que en cereales comunes tales como el trigo, que se encuentra en torno al 10-12%. Asimismo, al contrario que en la mayoría de semillas comunes, la semilla de quinoa está compuesta en mayor medida por globulinas y albúminas, y apenas contiene prolaminas, que son las principales proteínas de almacenamiento en cereales y son tóxicas para las personas afectadas por enfermedad celiaca (Álvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010).

Tabla 1. Composición del grano de quinoa cruda (g por 100 g). Fuente: elaboración propia basada en BEDCA (2022) y USDA (2019).

Componente (en g / 100 g)	Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA), 2022	United States Department of Agriculture (USDA) – Agricultural Research Service, 2019
Proteínas	13,8	14,1
Lípidos	5,6	6,1
Cenizas	Sin datos	2,4
Carbohidratos	49,2	57,1
Fibra	7,9	7,0
Energía (kJ)	1276	1540

Aminoácidos

La quinoa posee, como se ha mencionado con anterioridad, un excelente perfil de aminoácidos que incluye cantidades más que suficientes de aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y el mantenimiento de diversas actividades metabólicas (Dakhili *et al.*, 2019), y que también está más equilibrado que el de la mayoría de los cereales, situándose cerca del ideal recomendado por la FAO (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Tal y como se muestra en la Tabla 2, la quinoa presenta altos niveles de lisina (17,13%), ácido glutámico (12,8%) y ácido aspártico (10,68%), mientras que los de prolina (0,10%) y arginina (0,03%) son muy bajos. Por otro lado, se encontraron niveles moderados de glicina (9,69%), alanina (5,34%) y fenilalanina (6,46%). Los resultados indican, asimismo, que la quinoa contiene concentraciones razonables de todos los aminoácidos esenciales (con la excepción del triptófano), que, como el propio nombre indica, son muy importantes para la salud y nutrición humana (Elsohaimy *et al.*, 2015).

Tabla 2. Composición de aminoácidos en aislado de proteína de quinoa. Fuente: elaboración propia basada en Elsohaimy et al., 2015.

Aminoácidos	USDA, 2019 (g/100 g proteína)	Elsohaimy et al., 2015 (g/100 g proteína)	Patrón FAO / WHO (g/100 g proteína), 1985
<i>Esenciales</i>			
Histidina	2,89	2,76	1,6
Leucina	5,96	4,60	1,9
Isoleucina	3,57	1,30	1,3
Lisina	5,43	17,13	1,6
Metionina + cisteína	3,63	1,70	1,7
Fenilalanina + tirosina	6,10	9,34	1,9
Treonina	2,99	1,47	0,9
Valina	4,21	2,03	1,8
Triptófano	1,18	--	0,5
<i>No esenciales</i>			
Alanina	4,17	5,34	0,26
Glicina	4,92	9,60	0,20
Prolina	5,48	--	0,61
Serina	4,02	2,57	0,53
Ácido glutámico	13,19	12,80	1,75
Ácido aspártico	8,01	8,54	0,88
Arginina	7,73	--	0,46

-- datos no disponibles

Según la FAO, una ración suficiente de quinoa puede proporcionar más del 150% de las necesidades diarias de aminoácidos esenciales en el caso de los niños en edad escolar y más del 200% de las necesidades diarias de aminoácidos esenciales en adultos, puesto que no hay déficit de ningún aminoácido esencial (Dakhili et al., 2019).

La biodisponibilidad de las proteínas de los pseudocereales es alta, y este hecho ha sido demostrado en varios estudios con animales, donde se apreció que la biodisponibilidad era superior a la de la mayoría de los cereales y similar a la de la proteína animal. Sin embargo, la calidad de la proteína de los alimentos puede verse afectada por el procesado. No obstante, si se procesa bajo condiciones que no dañan la biodisponibilidad de los aminoácidos esenciales, la

calidad de las proteínas de los pseudocereales no solo no es perjudicada, sino que puede incluso incrementarse ligeramente, debido a una mejora de su digestibilidad (Álvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010).

Fraccionamiento de la proteína de quinoa

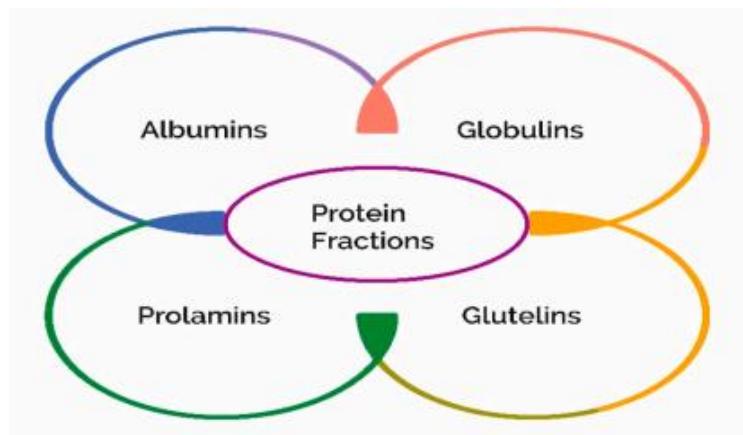


Figura 4. Fracciones de proteínas de granos de pseudocereales (Usman *et al.*, 2022).

La proteína de la quinoa está mayoritariamente compuesta por las siguientes fracciones: globulinas (37%), albúminas (35%) y prolaminas (0,5% - 7,0%). La Figura 4 muestra las diferentes fracciones mencionadas. Técnicas como la electroforesis permitieron demostrar que las proteínas mayoritarias en la quinoa son, como indican los porcentajes mencionados anteriormente, las albúminas y las globulinas, que influyen en las propiedades estructurales y fisicoquímicas de la proteína de la quinoa (Dakhili *et al.*, 2019). Según el estudio llevado a cabo por Thakur, Kumar y Dhaliwal (2021), la distribución de las fracciones de proteínas de pseudocereales muestra más similitudes con la de las legumbres que con la de los cereales.

Globulinas

Las globulinas representan el 37% de proteínas totales de la quinoa, siendo el grupo de proteínas mayoritario. Las globulinas son insolubles en agua, aunque son capaces de disolverse en soluciones salinas diluidas. Entre las globulinas, cabe destacar la globulina 11S, conocida también como legumina (“chenopedin” en inglés), uno de los componentes mayoritarios en las dicotiledóneas (Dakhili *et al.*, 2019). La legumina es rica en ácidos glutámico y aspártico, arginina, serina, leucina y glicina; sin embargo, es relativamente deficiente en aminoácidos azufrados.

Albúminas

La albúmina 2S es el segundo tipo de proteína más abundante, estimando que representa el 35% de la proteína total de la quinoa y se puede disolver rápidamente en agua (Dakhili *et al.*, 2019; Usman *et al.*, 2022). Las albúminas 2S son proteínas de almacenamiento de las semillas de

plantas dicotiledóneas. Se tiene constancia de que las albúminas, entre ellas la 2S, pueden causar alergias (Garino *et al.*, 2010), sin embargo, la albúmina 2S posee una actividad antifúngica excepcional debido a su habilidad para aumentar la permeabilidad de las membranas plasmáticas de hongos patógenos (Usman *et al.*, 2022). Además, las albúminas juegan un papel destacable en la nutrición humana, por lo que se han estudiado sus diferentes tipos y sus genes asociados en numerosas plantas de uso alimentario y caracterizado en gran detalle para facilitar su manejo y mejora (Garino *et al.*, 2010).

5.1.3. Carbohidratos y fibra

Carbohidratos

Los carbohidratos representan uno de los grupos de compuestos orgánicos más grandes que se pueden encontrar en la naturaleza. Junto con las proteínas, constituye una de las más abundantes y económicas fuentes de energía para el ser humano. Pueden clasificarse en tres grupos por su grado de polimerización: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

La semilla de quinoa cruda es materia almidonada con un alto contenido de carbohidratos: almidón, en mayor parte, y un pequeño porcentaje de azúcares. El contenido de carbohidratos en quinoa varía de un 49% hasta un 68% en peso de materia seca. En la Tabla 3 se pueden apreciar las composiciones de distintos cultivares de quinoa.

La quinoa contiene alrededor de un 3% de azúcares, siendo los principales azúcares la maltosa, D-galactosa y D-ribosa, además de bajas concentraciones de fructosa y glucosa (Navruz-Varli y Sanlier, 2016). Su contenido en D-ribosa y D-galactosa y maltosa puede resultar en una bajada del índice glucémico (Vega-Gálvez *et al.*, 2010), por lo que resulta acertado atribuirle a la quinoa efectos beneficiosos para el metabolismo de las personas afectadas por diabetes. La harina de quinoa contiene altos porcentajes de D-xilosa y maltosa y bajas cantidades de glucosa y fructosa, por lo cual se puede emplear para la elaboración de bebidas a base de malta (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Tabla 3. Composición aproximada de semillas de quinoa cultivadas en diferentes regiones.

Fuente: elaboración propia basada en Angeli et al. (2020).

País	Ubicación	Cultivar	Carbohidratos	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas
Valores en % o g/100 g de semillas (materia seca)							
Bolivia	-	Real	63,7	12,9	6,5	13,9	3,0
Italia	Vitulazio	KVLQ520Y	55,6	16,2	7,8	16,1	4,3
		Regalona Baer	52,8	16,8	7,9	18,6	4,0
Argentina	Salta y Jujuy	Valor medio de 12 muestras	51,4	16,8	5,9	12,1	4,7
Chile	Norte	Ancovinto Cancosa	68,1 65,8	13,0 13,6	6,2 6,0	1,5 1,8	3,4 3,5
	Centro	Cáhuil Faro	64,2 63,8	11,1 11,4	7,1 6,7	1,2 1,6	3,2 3,5
	Sur	Regalona Villarrica	59,4 56,5	14,4 16,2	6,4 5,6	1,8 2,9	3,7 3,7
España	El Pobo	Regalona	--	17,8	--	3,0	--
		Salcedo	--	15,7	--	3,2	--
		Titicaca	--	15,3	--	3,5	--

-- datos no disponibles

El almidón es el principal polisacárido de reserva de las plantas, incluyendo las semillas, y se presenta en forma de gránulos. Los gránulos de almidón de la quinoa tienen forma poligonal y un diámetro de 0,6 a 2,2 µm, lo que los hace más pequeños que los de la mayoría de los granos de cereales. Pueden encontrarse tanto de forma individual como formando agregados de estructuras esféricas o elípticas (Maradini-Filho et al., 2017). Ciertas de sus propiedades, como una alta estabilidad de congelación-descongelación, su bajo punto de gelificación o su tolerancia a temperaturas bajas de almacenamiento, hacen de la quinoa un espesante ideal para salsas, sopas y harinas. Asimismo, es resistente a la retrogradación, lo que la hace apta para ser usada en otras aplicaciones y obtener una textura cremosa y suave similar a la de las grasas (Navruz-Varli y Sanlier, 2016; Maradini-Filho et al., 2017).

El contenido en amilopectina en el almidón de quinoa representa un 77,5%, y se considera una fracción importante y comparable a la de algunas variedades de arroz. Contiene un elevado número de cadenas cortas, de 8 a 12 unidades, y una baja cantidad de cadenas largas, compuestas de 13 hasta 20 unidades, en comparación con otros cereales (Maradini-Filho et al., 2017).

La gelatinización del almidón de la quinoa sucede a una temperatura relativamente baja (62,6 – 67°C), es decir, a temperaturas inferiores que el almidón de amaranto y del de la cebada cerosa, pero algo más altas que el almidón de trigo, arroz y cebada. En comparación con los almidones de trigo y de cebada, el almidón de quinoa posee una elevada viscosidad máxima, así como una capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento mayores (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

Los carbohidratos de la quinoa son considerados como sustancias nutracéuticas por sus efectos hipoglucémicos beneficiosos. Se han hallado efectos nutracéuticos de la quinoa, pero se requiere más investigación en este campo (Maradini-Filho *et al.*, 2017). El control de la glucemia es posible por la inhibición de la actividad alfa-glucosidasa / alfa-amilasa y disminuyendo la adsorción de la glucosa (Zhu, 2020). Los polisacáridos y la fibra de la quinoa suprimieron la hidrólisis enzimática de algunos macronutrientes de alimentos, incluyendo proteínas y almidón (Zhu, 2020).

Por otro lado, los polisacáridos de la quinoa también ejercen un efecto de protección gastrointestinal. Cordeiro *et al.* (2012) estudiaron el efecto de los polisacáridos de la quinoa en ratas con daños gástricos agudos provocados con etanol; se les suministraron arabinosas (monosacárido de 5 carbonos con un grupo aldehído) y pectinas ricas en arabinosas presentes en las semillas de quinoa a dichas ratas. Los resultados mostraron que los polisacáridos pépticos con capacidad de gelificación formaron una barrera de mucosa, lo que evitó la entrada de agentes necróticos en las heridas de las ratas, logrando de esta manera destacar el efecto gastroprotector de los polisacáridos de las semillas de quinoa.

Fibra

El contenido total de fibra en la quinoa es de 7-9%, siendo el porcentaje de fibra soluble del orden de 1,3-6,1% (Navruz-Varli y Sanlier, 2016). La fibra dietética es conocida por tener relación con la motilidad del intestino y poseer efectos beneficiosos en el tránsito intestinal. Por lo tanto, se considera que las semillas de quinoa, por su alto contenido en fibra (7-9%), pueden mejorar la digestión y absorción de nutrientes, ya que facilitan el proceso de absorción de otros nutrientes presentes en la quinoa a nivel intestinal (Maradini-Filho *et al.*, 2017). Esto cobra especial importancia si se tiene en cuenta que la ingesta de fibra dietética en dietas sin gluten es inadecuada y que los expertos recomiendan una ingesta más elevada de semillas completas ricas en fibra, contrariamente a la de semillas y productos refinados (Álvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2010).

5.1.4. Lípidos

Las semillas de quinoa contienen una notable cantidad de lípidos de buena calidad nutricional, lo que las ha convertido en una alternativa adecuada al aceite de semilla de girasol. La quinoa posee un contenido lipídico entre 2,0-9,5%, y es rica en ácidos grasos esenciales tales como el linoleico y el alfa-linolénico, así como en antioxidantes como el alfa y gamma-tocoferol.

El ácido palmítico (C16), formado por 16 átomos de carbono y de cadena media, es el principal ácido graso saturado de la quinoa, constituyendo el 10% del total de ácidos grasos. Respecto a los ácidos grasos insaturados, el oleico (19,7 - 29,5%), linoleico (49,0 - 56,4%) y alfa-linolénico (8,7 - 11,7%) constituyen el 87,2% - 87,8% del total de ácidos grasos (Navruz-Varli y Sanlier, 2016); esta composición es similar a la del aceite de soja (Maradini-Filho et al., 2017). Todos los ácidos grasos presentes en la quinoa están protegidos por la presencia de vitamina E, la cual actúa como un antioxidante natural.

El estudio realizado por Repo-Carrasco *et al.* demostró que el ácido linoleico (omega-6) representaba el porcentaje más alto (50,2%) de los ácidos grasos de la quinoa peruana, seguido por el linolénico (omega-3), que representaba el 4,8% del total de ácidos grasos (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

5.1.5. Vitaminas

Las semillas de quinoa también son ricas en micronutrientes, como vitaminas y minerales. Las vitaminas son compuestos esenciales para la salud humana y animal. El problema es que no pueden ser sintetizadas por el cuerpo humano, pese a que ciertos compuestos pertenecientes a los esteroles y carotenoides pueden ser transformados por éste en vitaminas, llamados "provitaminas". Las vitaminas se pueden clasificar en dos grupos según su solubilidad: las hidrosolubles y las liposolubles.

Tradicionalmente se encuentran entre las sustancias químicas más empleados para mejorar el valor nutricional de los alimentos. Algunas vitaminas, por ejemplo, la B₃, también ayudan a reducir los niveles de compuestos tóxicos formados en reacciones químicas, como la reacción de Maillard (Vega-Gálvez *et al.*, 2010; Maradini-Filho *et al.*, 2017).

Miranda *et al.* (2011) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de caracterizar las propiedades fisicoquímicas, vitaminas y actividad antioxidante de seis tipos de quinoa cultivados en tres zonas de producción ancestrales de Chile (norte, centro y sur de Chile). En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis del contenido en vitaminas de seis ecotipos de quinoa. Se observó que el contenido de vitaminas del complejo B iba de 0,349 a 0,648 mg/100 g (vitamina

B_1 o tiamina), de 0,056 a 0,081 mg/100g (vitamina B_2 o riboflavina) y de 0,562 a 1,569 mg/100 g (vitamina B_3 o niacina).

Tabla 4. Contenido en vitaminas de seis ecotipos de quinoa de tres zonas genéticas, expresado en mg/100 g de materia seca. Fuente: elaboración propia basada en Miranda *et al.* (2011).

Zonas genéticas						
	Norte		Centro		Sur	
	Ancovinto	Cancosa	Cahuil	Faro	Regalona	Villarrica
Vitamina B_1	0,452 ± 0,018 ^a	0,485 ± 0,006 ^b	0,562 ± 0,017 ^c	0,558 ± 0,027 ^c	0,648 ± 0,006 ^d	0,349 ± 0,006 ^e
	0,081 ± 0,002 ^a	0,073 ± 0,002 ^b	0,067 ± 0,002 ^c	0,060 ± 0,005 ^d	0,056 ± 0,002 ^e	0,074 ± 0,001 ^b
Vitamina B_2	0,994 ± 0,046 ^a	0,562 ± 0,013 ^b	1,303 ± 0,051 ^c	1,226 ± 0,056 ^d	1,569 ± 0,026 ^e	1,418 ± 0,005 ^f
	2,465 ± 0,184 ^a	2,587 ± 0,108 ^a	2,613 ± 0,039 ^a	3,051 ± 0,079 ^b	2,445 ± 0,082 ^a	4,644 ± 0,240 ^c

Diferentes letras en superíndice en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las semillas de quinoa del cultivar Regalona (variedad híbrida) son las que mayor contenido de vitamina B_1 (tiamina) poseen, probablemente como resultado de una mejor calidad del suelo de cultivo en el sur de Chile, con mayor materia orgánica. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas (valor $p > 0,05$) entre el contenido en B_1 entre los cultivos del centro del país. Los valores son similares, e incluso más elevados, a los del trigo del noreste de Europa, que contiene entre 0,259 y 0,613 mg/100 g de vitamina B_1 . Respecto a la niacina (B_3), su cantidad en semillas de quinoa es más baja que en arroz integral y cebada (4,36 mg/100 g y 4,07 mg/100 g, respectivamente).

Asimismo, cabe destacar el contenido en vitamina E (alfa-tocoferol) hallado en los seis cultivos de quinoa, que varía de 2,45 mg/100 g a 4,644 mg/100 g, siendo estos valores mayores que los encontrados en trigo, arroz y cebada (1,15-0,18 y 0,35 mg/100 g respectivamente). Este estudio concluyó que la quinoa puede ser una fuente de vitamina E en todas las zonas chilenas (>2,4 mg/100 g), pero sobre todo en el cultivo del sur de Villarrica, el cual contiene 4,6 ± 0,24 mg/100 g (en materia seca) (Miranda *et al.*, 2011).

5.1.6. Minerales

Los minerales son micronutrientes inorgánicos esenciales para el organismo, puesto que son componentes estructurales y reguladores de procesos metabólicos. A diferencia de los carbohidratos, las proteínas y los lípidos, los minerales no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano, por lo que tienen que ser aportados por la dieta. Según los requerimientos y las cantidades en las que se encuentran en los tejidos se clasifican en tres grupos: macrominerales, microminerales y minerales ultratraza.

La baja ingesta mineral o la reducción de la biodisponibilidad puede causar desequilibrios en la salud y en el desempeño de las funciones vitales. En las semillas de quinoa podemos encontrar calcio, fosforo, hierro, potasio, sulfuro, sodio, magnesio, zinc, cobre, selenio y cromo. En la Tabla 5 se encuentran las cantidades de algunos de estos minerales en 100 g de quinoa cruda.

Tabla 5. Algunos minerales y sus cantidades (mg o µg) en una porción de 100 g de quinoa cruda.

Fuente: elaboración propia basada en Álvarez-Jubete et al. (2010), USDA (2019) y BEDCA (2022)

Mineral	Álvarez-Jubete et al. (2010)	USDA, 2019	BEDCA, 2022	Unidades
Calcio (Ca)	32,9	47	79	mg
Hierro (Fe)	5,5	4,57	7,8	mg
Magnesio (Mg)	206,8	197	210	mg
Fósforo (P)	--	457	230	mg
Potasio (K)	--	563	780	mg
Sodio (Na)	--	5	61	mg
Zinc (Zn)	1,8	3,1	3,3	mg
Cobre (Cu)	--	0,59	--	mg
Manganoso (Mn)	--	2,03	--	mg
Selenio (Se)	--	8,5	8,5	µg

-- datos no disponibles

Ya que el calcio, el magnesio y el hierro suelen ser deficitarios en el trigo, los pseudocereales como el amaranto, la cebada y, por supuesto, la quinoa, representan una buena fuente de estos y otros minerales importantes, con la ventaja adicional de que no contienen gluten (Álvarez-Jubete et al., 2010). En concreto, el alto contenido en calcio en estas semillas tiene es muy relevante para los celiacos debido a la prevalencia de osteopenia y osteoporosis en personas diagnosticadas con esta enfermedad (Álvarez-Jubete et al., 2010; Maradini-Filho et al., 2017).

Estos micronutrientes deben ser ingeridos con el objetivo de cumplir con las necesidades diarias. Asimismo, se le debe dar especial importancia a los efectos del procesado culinario y tecnológico que pueden afectar a su biodisponibilidad, tanto negativos como positivos, y combinar correctamente los alimentos y sus preparaciones (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

Sobre esta línea, Mhada *et al.* (2020) estudiaron las variaciones en el contenido de minerales debidas al procesado y cocinado de la quinoa. Para ello, pulieron, molieron y cocinaron (hervido + vapor) la quinoa y midieron el efecto de estos procesos con espectrometría óptica (ICP-OES). Los resultados mostraron que el pulido de las semillas provocó importantes pérdidas en minerales (K, Mg, Ca, Zn, Co, Cu, Fe, Mn y Ni); sin embargo, esto no es nada comparado con las pérdidas que se produjeron tras las diferentes etapas de la molienda, donde se perdió más del 50% del contenido en ciertos minerales y prácticamente la mayoría de los compuestos fenólicos. Se observó que el cocinado fue menos agresivo que las anteriores técnicas de procesado; pese a esto, también se registraron pérdidas considerables. El hervido causó la pérdida de alrededor del 40% de algunos minerales, como el potasio, el boro o el molibdeno, debido principalmente a su hidrosolubilidad. Por otro lado, el tratamiento con vapor permitió una mayor retención de estos compuestos.

En la primera fase del estudio se investigaron el contenido de macro y microelementos; la Tabla 6 muestra la concentración media de 14 minerales estudiada en dos cultivares de quinoa, Puno y Titicaca, así como los cambios en las concentraciones de los distintos minerales tras los distintos procesados.

En la Figura 5 se puede observar que, respecto a los macrominerales, para ambas variedades, las semillas pulidas mantuvieron aproximadamente 75%, 60%, 40%, y 30% de Mg, K, Ca y Na (respectivamente) de la semilla entera. Mientras que el nivel de P aumentó un 20%, el de S disminuyó en el mismo porcentaje. En el caso de los microminerales, el cambio más aparente se observó en Co, donde en semillas pulidas tan solo se preservó el 30% de la cantidad encontrada en la quinoa cruda, seguido por Ni, Fe, Mn y B, donde solamente el 48%, 53%, 58% y 67% del contenido original se mantuvo, respectivamente (Mhada *et al.*, 2020).

Tabla 6. Medias del contenido de minerales en semillas de quinoa (cultivares Puno y Titicaca) crudas y procesadas. Fuente: elaboración propia basada en Mhada et al., 2020.

Nutriente		Crudas		Pulidas		Sémola	
		Puno	Titicaca	Puno	Titicaca	Puno	Titicaca
Macroelementos (g/kg)	K	11,87	10,27	7,03	5,80	4,40	3,50
	P	2,60	2,70	3,23	3,10	1,10	1,37
	S	2,00	1,93	1,57	1,63	1,00	0,93
	Mg	2,13	1,90	1,53	1,47	0,70	0,60
	Ca	1,57	1,43	0,60	0,60	0,73	0,50
	Na	0,67	0,57	0,20	0,20	0,20	0,20
Microelementos (mg/kg)	Fe	83,05	57,62	36,14	36,5	22,36	25,71
	Zn	32,33	29,37	17,72	27,17	17,12	15,39
	Mn	34,43	29,71	19,07	18,07	7,13	8,85
	B	10,14	8,58	7,36	5,22	3,58	2,89
	Cu	5,90	5,41	3,10	4,68	1,86	2,21
	Ni	1,40	1,11	0,71	0,50	0,64	0,49
	Co	0,43	0,30	0,11	0,11	0,06	0,05
	Mo	0,22	0,22	0,21	0,20	0,15	0,14

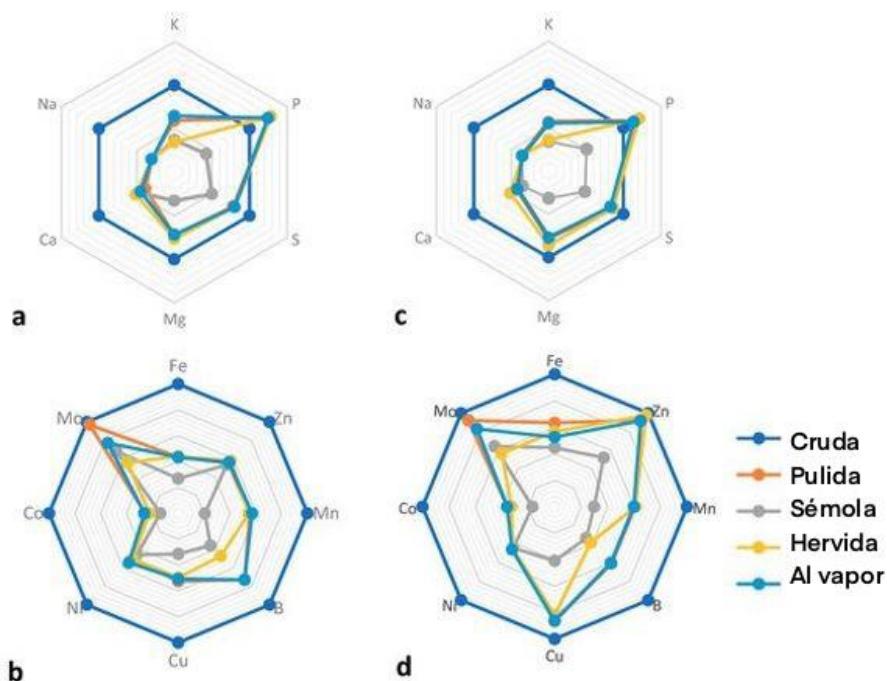


Figura 5. Macro y microminerales como % de sus concentraciones en semillas de quinoa crudas, siendo (a, b) la variedad Puno y (c, d) la variedad Titicaca (Mhada et al., 2020)

5.1.7. Componentes bioactivos

Antioxidantes: compuestos fenólicos y ácidos fenólicos

Cada vez se le da más importancia a los antioxidantes naturales, que juegan un papel importante en la inhibición de radicales libres y reacciones de la cadena de oxidación de tejidos y membranas, en las funciones neuronales, y en la reducción del riesgo de enfermedades degenerativas severas asociadas al estrés oxidativo como el cáncer o las enfermedades cardiovasculares. Es por ello por lo que resulta pertinente evaluar la actividad antioxidante de extractos y fracciones como etapa previa al aislamiento e identificación de los fitoquímicos antioxidantes que contiene (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Abderrahim *et al.* (2015) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar la capacidad antioxidante total (TAC) de las semillas rojas de quinoa, así como su contenido en compuestos fenólicos y en betalaínas. Para medir la TAC emplearon el método QUENCHER-CUPRAC, que consiste en forzar la solubilización de fenoles acomplejados por oxidación de los reactivos de TAC. Se obtuvo una TAC comprendida entre $119,8 \pm 2,8$ y $335,9 \pm 12,2$ mmol equivalentes de Trolox/kg (siendo el Trolox un análogo de la vitamina E que sirve para medir la capacidad antioxidante de una sustancia) en las muestras de semillas de quinoa roja. Estos valores indican que la TAC de la quinoa es notablemente más elevada que, por ejemplo, la cebada, con unos valores, expresados en mmol equivalentes de Trolox/kg, de $26,35 \pm 0,36$, el centeno ($16,21 \pm 0,25$), el trigo ($13,44 \pm 0,46$) y la avena ($10,46 \pm 0,23$). La TAC de la quinoa supera incluso la medida en semillas de cañahua, un pseudocereal de composición similar a la de la quinoa y que reportó unos valores de $71,0 \pm 1,7$ mmol de equivalentes de Trolox/kg de muestra (peso seco). Asimismo, se observó que las semillas de quinoa presentaban un valor mayor que el amaranto en distintos ensayos antioxidantes (Abderrahim *et al.*, 2015).

Además, los antioxidantes son moléculas que permiten retrasar o inhibir la oxidación de los lípidos u otras moléculas mediante la inhibición del inicio de las reacciones de oxidación en cadena. Cuando se añaden a alimentos, los antioxidantes minimizan procesos negativos como la rancidez, retrasan la formación de compuestos tóxicos de la oxidación, mantienen la calidad nutritiva y alargan la vida útil (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Los compuestos fenólicos poseen una gran importancia en el funcionamiento del organismo, ya que intervienen en la prevención y/o tratamiento de numerosos problemas ligados a la salud, entre las cuales podemos citar la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la obesidad, las infecciones, las enfermedades neurodegenerativas e incluso el cáncer. Esta capacidad terapéutica se debe a las propiedades cardioprotectoras, vasodilatadoras, antitumorales,

antiinflamatorias, antioxidativas, antimicrobianas, antihipertensivas y antihiperlipidémicas que ejercen este tipo de compuestos (Pereira *et al.*, 2020).

En su estudio, Pereira *et al.* (2020) buscaron caracterizar detalladamente el perfil fenólico de semillas de quinoa pertenecientes a tres variedades de color distintas (roja, blanca y negra), así como evaluar su actividad citotóxica y antimicrobiana (antibacteriana y antifúngica). La Tabla 7 muestra la composición fenólica detallada de las semillas de quinoa (variedades negra, roja y blanca).

Tabla 7. Identificación y cuantificación aproximada de compuestos fenólicos en extractos hidroetanólicos obtenidos de semillas de quinoa de variedades negras, rojas y blancas. Los resultados están expresados como media ± error estándar. Fuente: elaboración propia basada en Pereira *et al.* (2020).

Identificación aproximada	Negra (µg/mL)	Roja (µg/mL)	Blanca (µg/mL)
Quercetina-3-O-β-D-galactosidasa	189,4 ± 18,9 ^a	127,8 ± 17,1 ^b	79,8 ± 13,0 ^c
Quercetina-3-O-β-galactosidasa	182,1 ± 13,16 ^a	41,7 ± 11,90 ^b	41,2 ± 9,05 ^b
Kaempferol-3-O-β-glucósido	148,8 ± 30,6 ^b	62,7 ± 38,7 ^b	282,1 ± 19,9 ^b
Quercetina-3-O-rutinósido	31,5 ± 13,8 ^b	82,7 ± 11,0 ^a	11,5 ± 15,0 ^b
Quercetina-3-O-β-D-galactopiranósido	13,2 ± 3,96 ^b	31,3 ± 3,16 ^a	9,6 ± 2,54 ^b
Kaempferol-3-O-β-D-galactopiranósido	22,1 ± 7,27 ^b	16,7 ± 6,58 ^b	48,0 ± 5,01 ^a
Quercetina-O-glucurónido	11,5 ± 3,96 ^b	24,2 ± 3,38 ^a	7,0 ± 2,64 ^b
Kaempferol-3-O-rutinósido	3,84 ± 1,67 ^b	5,62 ± 1,51 ^b	13,47 ± 1,15 ^a
Total de Compuestos Fenólicos (TPC)	574,7 ± 101,64^a	358,7 ± 88,21^b	483,4 ± 82,00^a

En cada fila, las diferentes letras (a, b, c) indican diferencias significativas ($p < 0,10$).

Se identificaron compuestos derivados de glucósidos de la quercetina. La quercetina se encuentra presente en grandes cantidades en frutas y verduras, y, de acuerdo con varios estudios clínicos, este compuesto ha demostrado poseer ciertas actividades biológicas, tales como antiinflamatorias, antidiabéticas, hepatoprotectoras, neuroprotectoras, antiagregantes plaquetarias y antibacterianas. Además, permite la eliminación de radicales libres. Del mismo modo, se consiguió identificar derivados glucosídicos del kaempferol. Dicho compuesto se puede hallar fácilmente en matrices de plantas y medicinas tradicionales. Como la quercetina, el kaempferol también ha mostrado ejercer efectos beneficiosos para el organismo, principalmente antiinflamatorios y antioxidantes (Pereira *et al.*, 2020).

Repo-Carrasco *et al.* (2010) realizaron un estudio donde cuantificaron compuestos fenólicos en quinoa, cañahua y amaranto, tres pseudocereales pertenecientes a la familia *Chenopodium*. Se demostró que el contenido en flavonoides de las especies *Chenopodium* era excepcionalmente alto, con unos valores que variaban de 36,2 a 144,3 mg/100 g (Tabla 8).

Tabla 8. Contenido en flavonoides en semillas de quinoa y cañahua (mg/100 g). Fuente: elaboración propia basada en Repo-Carrasco *et al.* (2010).

Muestra	Miracetina	Quercetina	Kaempferol	Isoramnetina	Ramnetina	Total
Quinoa	0,5 ± 0,5 ^a	36 ± 13 ^a	20 ± 20 ^a	0,4 ± 0,7 ^a	0 ± 0 ^a	58 ± 13^a
Cañahua	0,04 ± 0,08 ^a	60 ± 30 ^a	2 ± 3 ^b	30 ± 20 ^b	4 ± 8 ^a	90 ± 40^a

En cada columna, las diferentes letras (a, b) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los flavonoides predominantes en las semillas de quinoa fueron la quercetina y el kaempferol, coincidiendo con el estudio posterior de Pereira *et al.*, mientras que en otras variedades también se encontró miracetina e isoramnetina, los cuales poseen actividad antioxidante (Repo-Carrasco *et al.*, 2010). Gracias a estos estudios se puede concluir que las semillas de quinoa son una muy buena fuente de flavonoides, más aún cuando los cereales comunes (trigo, avena, centeno, cebada, etc.) tienen menor cantidad (Repo-Carrasco *et al.*, 2010).

Respecto al contenido en ácidos fenólicos, en el estudio de Repo-Carrasco *et al.* (2010) se observó que las muestras de quinoa contenían ácido ferúlico (15 mg/100 g), ácido vanílico (11 mg/100 g), ácido p-cumárico (8 mg/100 g), ácido p-hidroxibenzoico (2,9 mg/100 g) y ácido cafeico (0,7 mg/100g) (Repo-Carrasco *et al.*, 2010).

De estos tres pseudocereales, la quinoa fue la que mayor contenido en ácidos fenólicos totales poseía; no obstante, existía una importante variación entre muestras. En las variedades de quinoa, la proporción de ácidos fenólicos libres fue alta (media: 39 ± 11% de los ácidos fenólicos totales), mientras que en las variedades de amaranto y cañahua esta proporción era bastante más reducida, siendo los valores medios de 10 ± 3% y 21 ± 9% respectivamente.

Los pseudocereales estudiados contenían niveles más bajos de ácidos fenólicos que los cereales comunes como el trigo (*Triticum spp.*) o el centeno (*Hordeum vulgare*). Los contenidos en ácidos fenólicos de estos cereales eran de 419 mg/100 g en centeno y 453 mg/100 g en salvado de trigo, mientras que en harinas de grano completo de estos cereales el contenido fue de 137 y 134 mg/100 g respectivamente. Por el contrario, el contenido en ácidos fenólicos de otros

cereales, como la avena, la cebada, el maíz, el arroz, el mijo o el alforfón, es del mismo orden que el de los pseudocereales andinos estudiados (25-60 mg/100 g).

Fitoecdisteroides

De entre los cultivos comestibles, las semillas de quinoa contienen los mayores niveles de fitoecdisteroides, esteroides polihidroxilados cuya estructura está relacionada con hormonas de defensa de la planta, y que además poseen numerosas actividades beneficiosas para la salud humana. La quinoa contiene un rango de entre 138 a 570 µg/g de fitoecdisteroides totales. De los 13 tipos encontrados en quinoa, la 20-hidroxiecdisona es el más abundante, llegando a representar entre el 62% y el 90% del total de fitoecdisteroides, seguida por la makisterona A, la 24-epi-makisterona A y la 24(28)-deshidromakisterona A (Graf *et al.*, 2015). Se ha demostrado que este tipo de compuestos ejercen acciones promotoras del crecimiento, antidiabéticas, inmunoreguladoras, hepatoprotectoras, neuroprotectoras, hipコレsterolemiantes, antioxidantes, sanadoras de heridas e incluso antidepresivas. Asimismo, se siguen investigando sus propiedades para paliar los síntomas de la menopausia y su efecto anabolizante (Graf *et al.*, 2015).

5.2. Factores antinutricionales de la quinoa

La quinoa es una planta, y, como tal, posee un metabolismo secundario de donde derivan una cierta cantidad de compuestos problemáticos para la salud. El término “factor antinutricional” se usa para describir esta clase de compuestos presentes en una amplia variedad de alimentos a base de plantas. Su consumo reduce el valor nutricional del alimento en cuestión, ya que interfiere en su digestibilidad, absorción o utilización de los nutrientes, pudiendo llegar a causar efectos nocivos en la salud si son ingeridos en grandes cantidades (Maradini-Filho *et al.*, 2017). La quinoa, pese a ser un alimento muy completo y conocido por sus numerosas propiedades beneficiosas para la salud, también contiene sustancias consideradas antinutricionales, como saponinas, taninos, ácido fítico, oxalatos, nitratos e inhibidores de proteasas; dichas sustancias pueden repercutir negativamente en la salud humana y animal cuando se usa como fuente principal de energía proveniente de la dieta (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

5.2.1. Saponinas

Un componente del recubrimiento amargo que posee la semilla de quinoa de manera natural se denomina saponina. Por lo general, se encuentra presente en las capas externas de la semilla

(episperma), para protegerla de pájaros e insectos (Maradini-Filho *et al.*, 2017). La Figura 6 (abajo) ofrece una mejor visualización de la semilla de quinoa y el epispermo.

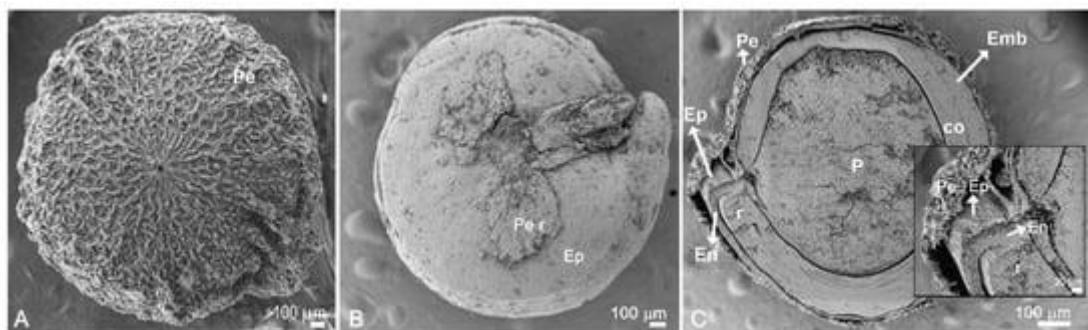


Figura 6. Fotografías microscopio electrónico de barrido de *C. quinoa* cv. CICA-17 (A) vista externa del grano; (B) semilla con epicarpio eliminado manualmente; y (C) sección longitudinal de grano medial. Pe, pericarpio; Pe r, pericarpio parcialmente eliminado; Ep, episperma; En, endospermo; P, perisperma; Emb, embrión con eje radicular-hipocótilo (r) y cotiledón (co) (González *et al.*, 2021)

Además, las saponinas son detergentes naturales glucosilados, y consisten en una unidad de aglicona unida a una o más azúcares u oligosacáridos. La unidad de aglicona puede ser un triterpenoide (sapogenina) o una molécula esteroide (sapogenol), y puede estar unida a D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa, D-glucosa, D-manosa, D-xilosa y D-ácido glucurónico. Las cadenas suelen ser lineales e incluyen de 2 a 3 unidades de sacáridos (Melini y Melini, 2021). Las saponinas son consideradas factores antinutricionales debido a sus actividades hemolíticas, membranolíticas y fungitoxicas.

Son solubles en metanol y agua y tienen propiedades tóxicas que causan la hemólisis de los glóbulos rojos sanguíneos. Esta toxicidad depende del tipo de saponina y de la sensibilidad del organismo receptor; no obstante, la toxicidad por ingestión oral en mamíferos es baja y no ejerce ningún efecto negativo en la calidad nutricional de la proteína. Asimismo, se tiene constancia de que las saponinas pueden reducir la absorción de potasio, hierro, manganeso y magnesio por el organismo (Maradini-Filho *et al.*, 2017; Melini y Melini, 2021).

Pese a ser ampliamente consideradas tóxicas, las saponinas también tienen cierto valor desde el punto de vista farmacológico. Por ejemplo, son capaces de modificar la permeabilidad del intestino delgado, lo cual puede ayudar en la absorción de ciertas drogas y a reducir el colesterol plasmático o sérico por excreción fecal de bilis y esteroides, o por inhibición de la absorción del colesterol por el lumen. En la industria farmacéutica, las saponinas se usan como precursores

para la síntesis de hormonas, contraceptivos, esteroides, expectorantes, antiinflamatorios y diuréticos.

Debido a sus efectos surfactantes y emulsificantes, también se emplean como agentes espumantes cuando se combinan con agua, y se utilizan en la elaboración de jabones, detergentes, champús, pasta de dientes y lociones para el cabello (Vega-Gálvez *et al.*, 2010; Maradini-Filho *et al.*, 2017).

La quinoa se puede clasificar de acuerdo con la concentración de saponinas, y su contenido varía según la variedad de quinoa (Vega-Gálvez *et al.*, 2010):

- “Dulce”: sin saponinas o contiene < 0,11% de saponinas libres;
- “Amarga”: contiene > 0,11% de saponinas libres.

Globalmente, las concentraciones de saponinas pueden ir de 2,6 g/kg a 78,6 g/kg (Melini y Melini, 2020). Vega-Gálvez *et al.* (2010) indican que el contenido en saponinas representa alrededor de un 0,1-5%.

Zhang *et al.* (2022) elaboraron una evaluación sobre la seguridad de las saponinas de la cáscara de la semilla de quinoa, estudiando la toxicidad por ingesta oral en ratas. Para ello, administraron saponinas de quinoa a ratas por vía oral durante 90 días. Además, se analizó la microbiota intestinal de las ratas con el fin de identificar cambios en varios indicadores de salud. Los resultados revelaron que los extractos de saponina de quinoa no tuvieron toxicidad aguda o un efecto mutagénico tras 90 días de exposición oral, aunque se observó que podían mantenerse en el tracto intestinal durante un largo periodo de tiempo, lo que afectaba al tracto intestinal y al organismo. La dosis máxima no tóxica se encontraba en el rango de 5 a 50 mg/kg peso corporal. Por otro lado, se notaron ligeras alteraciones en la composición de la microbiota intestinal, así como en el metabolismo del hígado y del riñón, los cuales están asociados a daños intestinales.

5.2.2. Ácido fítico

El ácido fítico no está tan solo presente en las capas externas de la quinoa, sino que se encuentra igualmente distribuido en el endospermo. El ácido fítico es quelante de minerales, como zinc calcio, hierro, magnesio y cobre y los deja no disponibles para el metabolismo al formar fitatos. No solo esto, sino que también compromete la biodisponibilidad del almidón, proteínas y enzimas, por un mecanismo similar (Vega-Gálvez *et al.*, 2010; Maradini-Filho *et al.*, 2017).

El ácido fítico posee una carga negativa, lo que le permite unirse a cationes divalentes como los minerales mencionados anteriormente, y forma complejos de fitatos estables a pH intestinal;

esto causa la inhibición de la absorción de minerales en el intestino delgado. Por este motivo, la degradación del contenido de fitato es primordial para reducir su efecto perjudicial en la biodisponibilidad de los minerales (Melini y Melini, 2020). Se han encontrado concentraciones del rango de 10,5-13,5 mg/g de este compuesto en 5 variedades distintas de quinoa (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Castro-Alba *et al.* (2019) decidieron estudiar la fermentación como método para mejorar la biodisponibilidad mineral mediante la degradación del fitato en quinoa, cañahua y amaranto. Su estudio mostró que el fitato en los tres pseudocereales se degradó con la fermentación, siendo la degradación más efectiva en harinas que en semillas. La producción de ácido láctico durante la fermentación provocó cambios en el pH (Figura 7), generando así las condiciones necesarias para la activación de fitasa endógena y fitasa microbiana, aunque se tiene constancia de que la degradación se produce principalmente gracias a la fitasa endógena. Tras la fermentación, la accesibilidad a minerales y su biodisponibilidad mejoró significativamente.

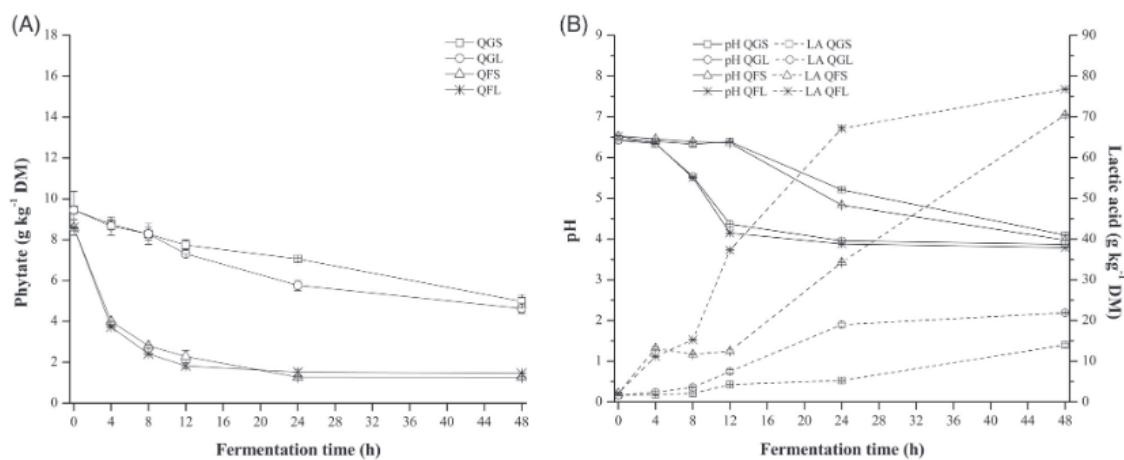


Figura 7. Fermentación de quinoa (semillas y harina); fermentación espontánea y con cultivo iniciador *Lp299v* (A) Efecto sobre el contenido de fitatos, (B) Efecto sobre el pH y el contenido de ácido láctico. QGS: semillas de quinoa espontáneas; QGL: semillas de quinoa con starter; QFS: harina de quinoa espontánea; QFL: harina de quinoa con starter (Castro-Alba *et al.* 2019)

La Figura 7 nos muestra cómo va disminuyendo el contenido de fitatos tanto en semillas de quinoa como en harina de quinoa a lo largo de 48 horas de fermentación con *Lp299v* (*Lactobacillus plantarum* 299v), así como las variaciones en el pH. La fermentación espontánea y la fermentación con el cultivo starter de las semillas de quinoa redujeron el contenido de fitatos un 47-51%, aunque cabe señalar que este alto nivel de degradación puede deberse, en

parte, al escaldado previo a las que fueron sometidas las semillas de quinoa con el objetivo de eliminar saponinas (Castro-Alba *et al.* 2019).

5.2.3. Taninos

Como las saponinas, los taninos son parte de los factores antinutricionales presentes en las semillas de quinoa. Los taninos forman parte del grupo de los polifenoles, sustancias naturales muy distribuidas en el reino de las plantas.

Son problemáticos ya que tienen la capacidad de formar complejos con proteínas y otras macromoléculas como el almidón, reduciendo de esta manera el valor nutricional de los alimentos. Otros efectos negativos que provocan en alimentos son otorgar un color indeseable debido a pardeamientos enzimáticos y una disminución de la palatabilidad a causa de su astringencia. En el cuerpo humano, puede dañar la mucosa intestinal e interferir con la absorción de hierro, vitamina B₁₂ y glucosa (Maradini-Filho *et al.*, 2016; Melini y Melini, 2020).

Los taninos se encuentran presentes en pequeñas cantidades en semillas de quinoa, representando un 0,53% de ésta, considerablemente menos que en granos de arroz, donde el porcentaje aumenta hasta un 1,3%. El lavado y un posterior aclarado con agua permitirían reducir aún más este porcentaje. Se tiene constancia de que los taninos se encuentran en mayor parte en la piel de la quinoa (0,92%), comparando con el salvado o la harina; no obstante, el salvado de la semilla pelada sigue conteniendo entre un 46-50% de los taninos totales de la semilla (Maradini-Filho *et al.*, 2016). Se registró un contenido total de 0,88 mg equivalentes de catequina/g de materia seca en semillas de quinoa cultivada en Perú, mientras que, en las muestras de África, los valores iban de 0,23 (genotipo Regalona) a 0,31 mg/g (genotipo kvl-sra2) (Melini y Melini, 2020).

Thakur *et al.* (2021) demostraron en su estudio que el contenido de taninos se redujo un 27,08% tras procesos de remojo y germinación, debido a que el recubrimiento de la semilla que contiene los taninos se rompe durante la germinación, lo que acarrea las pérdidas observadas de estos compuestos. Además, se forman nuevos componentes complejos y se producen más pérdidas como consecuencia de la lixiviación de los taninos durante el remojo en agua.

5.2.4. Inhibidores de proteasas

Los inhibidores de proteasas son componentes que forman complejos altamente estables con enzimas proteolíticas, y se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. En quinoa, estos compuestos se encuentran en concentraciones inferiores a 50 mg/kg, una cantidad lo suficientemente baja como para que no suponga ningún riesgo serio (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Entre los inhibidores de proteasas cabe destacar el inhibidor de la tripsina. La tripsina es uno de los enzimas responsables de la digestión de las proteínas; por lo tanto, la presencia del inhibidor de la tripsina en el tracto intestinal reduce la acción de tripsina, provocando un aumento de la producción de dicho enzima por el páncreas, que a su vez resultará en una hipertrofia de este órgano.

No obstante, este compuesto no supone un factor de preocupación demasiado importante en el campo de la nutrición humana ya que es termolábil y, por lo general, es destruido en condiciones normales domésticas o industriales de preparación de alimentos (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

5.2.5. Oxalatos

El oxalato es una sustancia química quelante que se suele encontrar a menudo en productos vegetales como espinacas, tomate, nueces y cacao, entre otros. El cuerpo humano no es capaz de metabolizarlo, por lo que se excreta en la orina.

Una ingesta elevada de oxalatos en la dieta repercute sobre la absorción de minerales y elementos traza, desempeñando así un papel clave en el desarrollo de hiperoxaluria, un factor de riesgo para la formación de cálculos de oxalato de calcio en los riñones debido a la capacidad de los oxalatos para formar complejos insolubles con cationes divalentes en el tracto gastrointestinal.

El ácido oxálico causa un número importante de efectos perjudiciales tanto en humanos como en animales, ya que reduce la biodisponibilidad de minerales, produce irritación gastrointestinal, contracción muscular acompañada con síntomas nerviosos, reducción de la capacidad coagulante de la sangre y posibilidad de dañar los órganos excretores debido al depósito de sustancias celulares con altas concentraciones de oxalato de calcio cristalino (Maradini-Filho *et al.*, 2017).

5.3. Innovación en el mercado y productos a base de quinoa

Es cada vez más habitual, cuando se va al supermercado, encontrar productos a base de quinoa, o que contienen quinoa. No es de extrañar, ya que posee un sabor neutro que combina a la perfección con muchos otros ingredientes, una textura agradable que recuerda al arroz y unas tonalidades de color que aportan vivacidad a cualquier plato.

A continuación, trataremos de explicar este “boom” reciente por el consumo de productos de quinoa o con semillas de quinoa.

5.3.1. La quinoa como matriz

Con todas las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y reológicas que poseen las semillas de quinoa, no resulta complicado pensar que se pueda emplear como base para elaborar comidas, e incluso alimentos innovadores. Starzynska-Janiszewska *et al.* (2017) elaboraron un tempeh a base de semillas de quinoa blancas, rojas y negras, y evaluaron sus parámetros sensoriales, nutricionales y bioactivos. El tempeh original es un producto alimenticio procedente de la fermentación natural controlada de la soja que se presenta en forma de pastel. El tempeh de quinoa demostró contener más proteína y un nivel significativamente más elevado de aminoácidos libres, pero una cantidad similar de carbohidratos comparado al sustrato crudo. El procesado provocó el aumento de fibra dietética. Los productos como el tempeh elaborado a partir de semillas de quinoa también presentaron un contenido más elevado de compuestos fenólicos y potencial antioxidante que las semillas de quinoa crudas.

Ismail y Rayan (2021) decidieron evaluar las características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de un kishk (plato tradicional libanés preparado con yogur y bulgur) elaborado a base de quinoa. Los resultados demostraron que las muestras de kishk elaboradas con semillas de quinoa tenían un mayor contenido de proteína (17,18–18,37%), grasas (3,00–5,99%), cenizas (6,64–8,01%) y fibra (1,32–2,05%), comparado a las muestras control sin quinoa, que obtuvieron unos valores de 16,52%, 2,82%, 6,00% y 1,18% respectivamente. Asimismo, la incorporación de quinoa mejoró el perfil de aminoácidos, el contenido en minerales, la actividad antioxidante y los fenoles totales. Por otro lado, la presencia de quinoa afectó a los atributos del color, provocando una disminución significativa en los parámetros L* y b*.

Podemos constatar que las semillas de quinoa, por lo general, constituyen una muy buena matriz y base para elaborar todo tipo de alimentos, notablemente si lo que se busca es aumentar el contenido proteico de éste.

5.3.2. La quinoa como ingrediente y complemento alimenticio

Son muchos los alimentos que podemos encontrar hoy en día en el supermercado que llevan quinoa como ingrediente estrella e incluso herramienta de marketing. La popularidad de la quinoa queda corroborada con los más de 830 resultados que recoge la base de datos Open Food Facts en España (<https://es.openfoodfacts.org/>), que ascienden a más de 6330 a nivel global; además, la gran mayoría de dichos productos poseen una valoración Nutri-Score “A”, correspondiendo a la mayor calidad nutricional posible.

En el estudio de Deshpande *et al.* (2022), elaboraron tortillas de trigo suplementadas con semillas de quinoa. Los resultados mostraron que la incorporación de quinoa puede aumentar

significativamente el valor nutricional de la harina de trigo completa. La tortilla de harina de trigo enriquecida con quinoa posee un alto contenido de proteína, fibra y minerales, llegando a superar a las tortillas de trigo normales y a las de maíz. Asimismo, se pudo concluir que la incorporación de quinoa también ayuda a disminuir el índice glucémico de la tortilla debido a la reducción del índice de digestibilidad del almidón del producto. Por otro lado, se observó que el uso de la harina de quinoa combinada con la harina de trigo completa el perfil de aminoácidos, ya que la quinoa es rica en lisina.

Gupta, Sharma y Reddy-Surasani (2021) llevaron a cabo un experimento que consistía en incorporar aislado de proteína de quinoa (QPI) a pasta de trigo duro. Lo que se observó fue que la suplementación con QPI de 0 a 12 g/100 g aumentó significativamente el contenido en proteína de la pasta de 11,73 a 21,52 g/100 g. Además, la adición de QPI incrementó el tiempo de cocinado óptimo, el índice de hinchazón, la absorción de agua, la firmeza, las perdidas por cocinado y las pérdidas de proteína, pero disminuyó el índice de blancura y la viscosidad. Se advirtió que la pasta suplementada con 8,0 g de QPI/100 g mostraba mejores resultados que la muestra control en la evaluación sensorial; no obstante, una mayor cantidad de QPI afectaba negativamente a la aceptabilidad de la pasta. Los investigadores concluyeron que la suplementación con QPI era una técnica prometedora para la industria alimenticia para producir pasta económica, de alta calidad y enriquecida en proteína.

Como en el apartado anterior, quedan claros los beneficios tanto nutricionales como sensoriales que aportan las semillas de quinoa a muchos alimentos, pudiendo llegar en pocos años a cambiar el panorama actual de los supermercados.

VI. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

1. Las semillas de quinoa constituyen un alimento muy completo, con una gran cantidad de proteína, carbohidratos, fibra, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos, que se caracterizan por su actividad antioxidante.
2. Las semillas de quinoa contienen compuestos antinutricionales, pero ninguno representa un peligro significativo para la salud humana, en las condiciones y cantidades en las que se consume este alimento.
3. Son numerosos los efectos beneficiosos para el organismo los aportados por las semillas de quinoa, entre los cuales destacan el papel antioxidante, gastroprotector, antiinflamatorio, antidiabético, hepatoprotector, neuroprotector, antiagregante plaquetario y antibacteriano.
4. Las semillas de quinoa son aptas para personas celiacas porque no contienen gluten, representando una alternativa de aporte de proteína ideal y una buena fuente de carbohidratos.
5. Las semillas de quinoa son un ingrediente cada vez más empleado en preparación de alimentos y en cocina, debido a sus conocidos efectos beneficiosos y a sus propiedades nutricionales y organolépticas.

CONCLUSIONS

1. Quinoa seeds are a very complete food, with a large amount of protein, carbohydrates, fiber, vitamins, minerals and phenolic compounds, which are characterized by their antioxidant activity.
2. Quinoa seeds contain antinutritional compounds, but none represents a significant risk to human health, in the conditions and quantities in which this food is consumed.
3. There are numerous beneficial effects for the body provided by quinoa seeds, among which stands out the antioxidant, gastroprotective, anti-inflammatory, antidiabetic, hepatoprotective, neuroprotective, antiplatelet and antibacterial role.
4. Quinoa seeds are suitable for people with celiac disease because they do not contain gluten, representing an ideal protein alternative and a good source of carbohydrates.
5. Quinoa seeds are an increasingly used ingredient in food preparation and cooking, due to their well-known beneficial effects and their nutritional and organoleptic properties.

VII. VALORACIÓN PERSONAL

El presente Trabajo de Fin de Grado me ha permitido afianzar mis conocimientos sobre cómo gestionar la búsqueda de información pertinente, recogida, análisis e interpretación de ésta, así como seleccionar y valorar los artículos más convenientes, veraces y de calidad. Asimismo, he podido evaluar mi capacidad de síntesis y de pensamiento crítico. Por otro lado, tratándose de un trabajo individual, he aprendido a gestionar mi tiempo, a trabajar de manera autónoma y a organizarme. Gracias a este ejercicio de búsqueda, he aprendido a manejar las principales bases de datos científicas y motores de búsqueda, lo que sin duda me será de gran utilidad en mi futuro académico y profesional, y me permitirá acceder a los mejores conocimientos disponibles. De igual manera, la gran mayoría de los artículos / textos estando escritos en inglés, he sido capaz de evaluar mi situación respecto a este idioma, e incluso mejorarlo aprendiendo nuevas palabras científicas, ciertas diferencias a la hora de redactar en comparación al idioma español, expresiones, etc.

La elaboración de la revisión bibliográfica sobre las semillas de quinoa me ha enseñado a identificar y evaluar sus características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales de este alimento, cuyas propiedades anteriormente me eran prácticamente desconocidas.

Además, este trabajo me ha hecho descubrir el mundo de los pseudocereales y reparar en todos los beneficios que poseen, tanto nutritivos como saludables, especialmente la quinoa, y su amplia versatilidad, logrando despertar en mí un gran interés por este alimento del que tanto se habla hoy en día.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., González, M. C. y Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, pp. 83-90. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.029
- Álvarez-Jubete, L., Arendt, E. K. y Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), pp. 106-113. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.014
- Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA). (2022). Quinoa, cruda. Disponible en: <https://www.bedca.net/bdpub/index.php> . [Consultado el: 7-04-2022].
- Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF e IFAD. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. ISBN: 978-92-9043-927-1
- Burrieza, H. P., Rizzo, A. J., Vale, E. M. y Maldonado, S. (2019). Shotgun proteomic analysis of quinoa seeds reveals novel lysine-rich seed storage globulins. *Food Chemistry*, 293, pp. 299-306. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.098
- Burrieza, H., Rizzo, A. y Pérez, O. (2020). Quinoa does not contain prolamins. Comments on "Quinoa protein: Composition, structure and functional properties", Dakhili *et al.* (2019). *Food Chemistry*, 325. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126934
- Castro-Alba, V., Lazarte, C. E. Pérez-Rea, D., Carlsson, N. G., Almgren, A., Bergenståhl, B. y Granfeldt, Y. (2019). Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 99(11), pp. 5239-5248. DOI: 10.1002/jsfa.9793
- Cordeiro, L. M., de Fátima Reinhardt, V., Baggio, C. H., de Paula Werner, M. F., Burci, L. M., Sasaki, G. L. y Iacomini, M. (2012). Arabinan and arabinan-rich pectic polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: Structure and gastroprotective activity. *Food Chemistry*, 130(4), pp. 937-944. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.020
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaee-Aliabadi, S., y Mirmoghadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. *Food Chemistry*, 299, pp. 125-161. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125161
- Deshpande, R. H., Kumar, A., Katare, M., Sakhare, S. D. e Inamdar, A. A. (2022). Effect of grinding techniques and supplementation of quinoa on the carbohydrate profile of

tortillas. *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1007/s13197-022-05365-9

Elsohaimy, S.A., Refaay, T. M. y Zaytoun, M. A. M. (2015). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), pp. 297-305. DOI: 10.1016/j.aoas.2015.10.007

FAO & CIRAD. (2015). State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i4042e/i4042e.pdf> [Consultado el 30-3-2022].

Garino, C., Zuidmeer, L., Lovegrove, A., Morati, M., Versteeg, S., Schilte, P., Shewry, P., Arlorio, M. y van Ree, R. (2010). Isolation, cloning, and characterization of the 2S albumin: A new allergen from hazelnut. *Molecular Nutrition and Food Research*, 54(9), pp. 1257-1265. DOI: 10.1002/mnfr.200900456

González, J. A., Eisa, S. S., Hussin, S. A. E. S. y Prado, F. E. (2015). Quinoa: An Incan Crop to Face Global Changes in Agriculture. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*. Murphy, K., Matanguihan, J., Eds.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, pp. 1–18. ISBN 978-1-118-62805-8.

González, J. A., Hinojosa, L., Mercado, M. I., Fernández-Turiel, J-L., Bazile, D., Ponessa, G. I., Eisa, S., González, D. A., Rejas, M., Hussin, S., Abd El-Samad, E. H., Abdel-Ati, A. y Ebrahim, M. E. A. (2021). A Long Journey of CICA-17 Quinoa Variety to Salinity Conditions in Egypt: Mineral Concentration in the Seeds. *Plants*, 10(407). DOI: 10.3390/plants10020407

Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E. y Raskin, I. (2015). Innovations in Health Value and Functional Food Development of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), pp. 431-445. DOI: 10.1111/1541-4337.12135

Gupta, A., Sharma, S. y Reddy-Surasani, V. K. (2021). Quinoa protein isolate supplemented pasta: Nutritional, physical, textural and morphological characterization. *LWT – Food Science and Technology*, 135. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110045

Maradini-Filho, A. M., Ribeiro-Pirozi, M., Da Silva-Borges, J. T., Pinheiro-Sant'Ana, H. M., Paes-Chaves, J. B., y Dos Reis- Coimbra, J. S. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), pp. 1618-1630. DOI: 10.1080/10408398.2014.1001811.

Melini, V. y Melini, F. (2021). Functional Components and Anti-Nutritional Factors in Gluten-Free Grains: A Focus on Quinoa Seeds. *Foods*, 10(351). DOI: 10.3390/foods10020351

Mhada, M., Metougui, M. L., El Hazzam, K., El Kacimi, K., y Yasri, A. (2020). Variations of saponins, minerals and total phenolic compounds due to processing and cooking of

- quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Foods*, 9(5), p. 660. DOI: 10.3390/foods9050660
- Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Uribe, E., López, J., Martínez, E., Rodríguez, M. J., Quispe, I y Di Scala, K. (2011). Physico-chemical analysis, antioxidant capacity and vitamins of six ecotypes of chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Procedia Food Science, Parto f special issue: 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11), 1, pp. 1439-1446. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.213
- Navruz-Varli, S. y Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, pp. 371-376.
- Open Food Facts (2022). Quinoa (España). Disponible en: https://es.openfoodfacts.org/cgi/search.pl?search_terms=quinoa&search_simple=1&action=process [Consultado el 19-6-2022].
- Open Food Facts (2022). Quinoa (World). Disponible en: https://world-es.openfoodfacts.org/cgi/search.pl?action=process&search_terms=quinoa&sort_by=unique_scans_n&page_size=24 [Consultado el 19-6-2022].
- Pereira, E., Cadavez, V., Barros, L., Encina-Zelada C., Stojkovic, M., Calhelha, R. C., Gonzales-Barron, U. y Ferreira, I. C. (2020). *Chenopodium quinoa* Willd. (quinoa) grains: A good source of phenolic compounds. *Food Research International*, 137. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109574
- Repo-Carrasco, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., y Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), pp. 128-133. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.087
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gómez-Pando, L., León-Lobos, P., Alercia, A., Diulgheroff, S., Padulosi, S. y Bazile, D. (2015). "Quinoa genetic resources and ex situ conservation". Capítulo 1.5. En: FAO & CIRAD. *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*, pp. 56-82. Roma.
- Starzyńska-Janiszewska, A., Bączkowicz, M., Sabat, R., Stodolak, B., y Witkowicz, R. (2017). Quinoa Tempe as a Value-Added Food: Sensory, Nutritional, and Bioactive Parameters of Products from White, Red and Black Seeds. *Cereal Chemistry*, 94(3), pp. 491-496. DOI: 10.1094/CCHEM-07-16-0186-R
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., y Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, pp. 380-388. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.06.018

- Tapia, M. E. (2015). The Long Journey of quinoa: Who wrote its history? En: FAO & CIRAD. *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*, pp. 3-9.
- Thakur, P., Kumar, K. y Dhaliwal, H-S. (2021). Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudocereals: A comprehensive review. *Food Bioscience* (42). DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101170
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Eain, Q. U., Jan, S., Singh, T. P. y Dhaliwal, H-S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, pp. 917-925. DOI: 10.1016/j.crfs.2021.11.019
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (2019). Quinoa, uncooked. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168874/nutrients>. [Consultado el: 7-04-2022].
- Usman, M., Patil, P. J., Mehmood, A., Rehman, A., Shah, H., Haider, J., Xu, K., Zhang, C. y Li, X. (2022). Comparative evaluation of pseudocereal peptides: A review of their nutritional contribution. *Trends in Food Science and Technology*, 122, pp. 287-313. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.02.009
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. y Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Food Science and Agriculture*, 90(15), pp. 2541-2547. DOI: 10.1002/jsfa.4158
- Zevallos, V. F., Ellis, H. J., Šuligoj, T., Herencia, L. I., y Ciclitira, P. J. (2012). Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) prolamins in celiac disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96(2), pp. 337–344. DOI: 10.3945/ajcn.111.030684
- Zhang, R., Zhai, Q., Yu, Y., Li, X., Zhang, F., Hou, Z., Cao, Y., Feng, J. y Xue, P. (2022). Safety assessment of crude saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. husks: 90-day oral toxicity and gut microbiota & metabonomics study in rats. *Food Chemistry*, 375. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131655
- Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 248. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.11681