



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

REVIEW



Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination

Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación

Jordy Campos-Rodriguez¹ ; Katherine Acosta-Coral¹ ; Luz María Paucar-Menacho¹ * 

¹ Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agroindustrial y Agrónoma, Av. Universitaria s/n, Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash. Perú.

* Corresponding author: luzpaucar@uns.edu.pe (L. M. Paucar-Menacho).

Received: 27 Janeiro 2022. Accepted: 11 July 2022. Published: 8 August 2022.

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is an Andean pseudocereal produced in countries such as Bolivia, Peru, Ecuador and southern Colombia, with more than 3,000 varieties, distinguished by their nutritional properties and adaptation to different agro-ecological zones. Quinoa's nutritional profile stands out for its protein, carbohydrate, lipid and gluten-free content; it is rich in vitamins; and it is an excellent source of minerals, such as calcium, magnesium, iron and phosphorus. It is one of the few foods that have in its composition all the essential amino acids, standing out from other cereals such as rice or wheat. It is an excellent source of bioactive compounds, which have antioxidant, cytotoxic, antidiabetic and anti-inflammatory properties. With respect to quinoa leaves, several studies have indicated that they have higher protein content than grains, as well as inorganic nutrients such as calcium, phosphorus, iron and zinc. In addition, they can potentially serve as a rich source of phenolic compounds and carotenoids. Conventional heat treatments greatly or slightly affect the composition of the food, including bioactive compounds and antioxidant capacity. Germination provides the product with greater bioavailability and an increase in bioactive compounds. The purpose of this work was to document research on quinoa and its leaves, the effect of thermal treatments and germination on its bioactive compounds, in order to promote the creation and innovation of products based on its bioactive compounds, thus combating malnutrition in our population.

Keywords: Quinoa leaves; pseudocereal; amino acids; heat treatments; germination.

Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal andino que se produce en países como Bolivia, Perú, Ecuador y en el sur de Colombia, cuenta con más de 3000 variedades, distinguiéndose entre ellas por sus propiedades nutricionales y adaptación en las diversas zonas agroecológicas. Destaca en la quinua su perfil nutricional, sobresaliendo su contenido proteico, carbohidratos, lípidos y por no poseer gluten; es rico en vitaminas; y es una excelente fuente de minerales, como calcio, magnesio, hierro y fósforo. Es uno de los pocos alimentos que poseen en su composición todos los aminoácidos esenciales, sobresaliendo de otros cereales como el arroz o el trigo. Es una excelente fuente de compuestos bioactivos, que poseen propiedades antioxidantes, citotóxicas, antidiabéticas y antiinflamatorias. Con respecto a las hojas de quinua, varios estudios han indicado que presentan mayor contenido proteico que los granos, así como nutrientes inorgánicos como calcio, fósforo, hierro y zinc. Además, pueden servir potencialmente como una fuente rica de compuestos fenólicos y carotenoides. Los tratamientos térmicos convencionales afectan en gran o pequeña medida a la composición del alimento, incluyendo los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante. La germinación proporciona al producto mayor biodisponibilidad y un aumento en sus compuestos bioactivos. El propósito de este trabajo fue documentar investigaciones referentes a la quinua y sus hojas, el efecto de los tratamientos térmicos y la germinación sobre sus compuestos bioactivos, con el fin de fomentar la creación e innovación de productos con base de sus compuestos bioactivos, logrando así combatir la desnutrición de nuestra población.

Palabras clave: Hojas de quinua; pseudocereal; aminoácidos; tratamientos térmicos; germinación.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>

Cite this article:

Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209-220.

1. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudo cereal andino, producida principalmente en la zona alto andina, en países como Bolivia, Perú, Ecuador y en el sur de Colombia, alcanzando zonas geográficas que van entre 0 - 4000 m.s.n.m (Basantes-Morales et al., 2019). Actualmente la producción se ha diversificado en varios países del mundo, globalizándose y arraigándose como un superalimento (Peiretti et al., 2013). El tamaño promedio del grano varía alrededor de 1,8 mm de diámetro además su forma se ha descrito como plana y esférica (Gamboa et al., 2018), cómo se logra observar en la Figura 1.



Figura 1. Tamaño de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa*).

La quinua presenta una gran diversidad biológica, reflejada en alrededor de 3000 muestras registradas en los bancos de germoplasma del Perú (Gomez & Eguiluz, 2011). Donde en Perú se presentan en una amplia variedad de colores como: amarillo, crema, negro, rojizo, translucido o blanco (Castro et al., 2017). En la Tabla 1 se muestran los resultados de la diferencia de tonalidades en 3 variedades de quinua, el análisis fue realizado utilizando el sistema CIELab.

La importancia nutritiva de la quinua es reconocida mundialmente, por ser un alimento de origen vegetal que tiene alto contenido de proteínas, con un excelente perfil de aminoácidos, rico en nutrientes como lípidos, fibra, vitaminas y minerales, lo que lo hace potencialmente beneficioso para la salud (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). En su composición están presentes todos los aminoácidos esenciales, en mayor proporción la lisina y metionina (Rojas et al., 2016). No contiene gluten, por lo que es apta para personas celíacas, que necesariamente tienen que seguir una dieta sin gluten (Shi et al., 2020). Además, proporciona valiosas propiedades terapéuticas para mejorar la función inmunológica, ayudar en la re-

paración celular, la absorción y el transporte de calcio; e incluso prevenir la metástasis del cáncer (Son et al., 2017). La quinua posee hojas que son igual de ricas en valores nutricionales y compuestos bioactivos. Se consumen tradicionalmente en América y se consideran vegetales nutritivos (Vazquez-Luna, 2019). Además, hay informes donde indican la idoneidad del uso potencial de la planta joven de quinua como un nuevo cultivo de verduras de hoja no tradicional, por presentar características nutricionales potenciales (Abd et al., 2018). El consumo de las hojas verdes de quinua puede prevenir la deficiencia nutricional causada por el Fe y el Zn (Stoleru et al., 2022). Las hojas de quinua tienen un sabor similar al de las espinacas y pueden utilizarse en ensaladas o cocinadas como verdura verde. La proteína de las hojas de quinua contiene más isoleucina y valina, y algo menos de metionina cistina, fenilalanina y tirosina que las espinacas (Pathan et al., 2019).

La germinación es una propuesta económico y factible para mejorar el valor nutritivo y el contenido fitoquímico de los cereales y pseudocereales. Este proceso provoca un aumento de la digestibilidad de las proteínas y el almidón, mejora el contenido fenólico total y la biodisponibilidad de algunos minerales, disminuyendo en el proceso algunos factores no nutritivos en la quinua (Gan et al., 2017). Los germinados de quinua también son adecuados para las dietas sin gluten, ya que carecen de prolaminas, las proteínas tóxicas para los celíacos (Peñas et al., 2014). Sin embargo, la acumulación de nutrientes y compuestos bioactivos en los brotes varía mucho según las condiciones de germinación (Pauca-Menacho et al., 2017).

Procesos como el tostado puede afectar las propiedades nutricionales, pero a medida que aumentó el tiempo de tostado, a pesar de la reducción de los compuestos fenólicos, se registra un aumento significativamente su actividad antioxidante (Maghsoudlou et al., 2019). Se sospecha que la actividad del antioxidante disminuye drásticamente después del tostado, debido a la degradación térmica de los nutrientes y los antioxidantes fenólicos. Por consuetos los procesos térmicos contralados podrían proporcionar un efecto significativo sobre el compuesto bioactivo y la actividad antioxidante en alimentos como la quinua (Ketharin et al., 2019).

Tabla 1
Análisis de color CIELab en quinua blanca, roja y negra

Blanca	Roja	Negra
		
L = 80.002 a = -0.752 b = 11.517	L = 48.727 a = 30.487 b = 41.191	L = 20.515 a = -0.974 b = -2.499

El objetivo de esta investigación es brindar información sobre la quinua y sus hojas, principalmente su composición nutricional, perfil de aminoácidos y sus compuestos bioactivos. Además de indicar el efecto de diversos tratamientos térmicos y del proceso de germinación sobre su composición nutricional.

2. Composición Nutricional

Actualmente los estudios de la quinua y hojas la señalan como un alimento completo; el cual supera los requerimientos estándar y presenta compuestos de alto valor funcional como polifenoles, fitosteroles y flavonoides; aporta los tres macronutrientes (carbohidratos, proteínas y lípidos); posee un balance aminoácido alto en lisina y metionina; y además presenta un amplio rango de minerales y vitaminas. De la misma forma su contenido de ácidos grasos y su alta conservación por el notable contenido de vitamina E le hacen un alimento vital para la alimentación humana (Vargas et al., 2019).

2.1. Del grano

Diversas investigaciones señalan cuán grande es el valor nutricional de la quinua, e indican que es una fuente excelente de proteínas, lípidos e hidratos de carbono, además cuenta con un amplio contenido de proteína y lípidos (Dakhili et al., 2019). La quinua es un alimento de alto nivel calórico, ya que posee un alto contenido de carbohidratos (74 g/100 g de peso seco) (González-García et al., 2018) del cual el 50 - 60% es almidón, componiéndose por amilosa (20%) y amilopectina (80%). Los azúcares libres se encuentran en promedio 6,2 g/100

g de peso seco, la fibra bruta alrededor de 5 g/100 g de peso seco y la fibra soluble 2,49 g/100 g de peso seco (Ramírez & Stefano, 2018). El contenido de proteína en la quinua varía entre 8-22 g/100 g de peso seco, encontrándose estrechamente cercano entre los valores del trigo y la avena, mientras que los de arroz, maíz y cebada son menores (García-Mazcorro et al., 2016). El contenido de lípidos en quinua (4,0-7,6 g/100 g de peso seco) es mayor que algunos cereales, como al maíz (4,7 g/100 g de peso seco) y menores que la soya (18,9 g/100 g de peso seco) (Tanwar et al., 2019). La quinua es un alimento que posee un bajo porcentaje de humedad, alrededor del 6,03% (Mamani et al., 2017). En la **Tabla 2** se compara el contenido nutricional de la quinua con otros cereales tradicionales, donde resalta un mayor contenido de proteínas y lípidos que los otros.

El grano de la quinua tiene casi todos los minerales en un nivel superior a otros cereales, su contenido de hierro es de 13,2 mg/100 g de peso seco, que es dos veces más alto que el del trigo, tres veces más alto que el del arroz y llega casi al nivel del frijol (Ramos et al., 2016). Posee dos veces más cantidad de magnesio (246,5 mg/100 g de peso seco) que el arroz (120 mg/100 g de peso seco) y el trigo (118 mg/100 g de peso seco) y supera al frijol en más del 20% (200 mg/100 g de peso seco), además siendo rica en calcio, magnesio, hierro y fósforo (ALADI & FAO, 2014). Con respecto a otros nutrientes encontrados en la quinua, en la **Tabla 3** se compara la composición de minerales presentes en la quinua contra otros cereales tradicionales, donde resalta un mayor contenido de minerales, como calcio, hierro y magnesio.

Tabla 2

Comparación de la composición nutricional presentes en la quinua con otros cereales tradicionales (g/100 g de material seca)

Nutrientes	Quinua			Trigo	Arroz
	USDA (2018)	Eisohaimy et al. (2015)	Paucar-Menacho et al. (2018)	USDA (2019)	Moreiras et al. (2013)
Energía (kcal)	368	*	*	340	381
Humedad	13,30	9,68±0,33	9,54±0,10	10,4	5,9
Carbohidratos	64,20	72,15±0,28	78,51±0,31	75,4	86
Almidón	52,20	*	*	*	*
Proteínas	14,10	14,03±0,25	13,40±0,42	10,7	7
Lípidos	6,07	6,79±0,19	5,37±0,07	1,99	0,9
Fibra	7	4,06±0,34	*	12,7	0,2
Cenizas	2,38	2,97±0,021	2,42±0,04	1,54	*

* valor no encontrado.

Tabla 3

Comparación de la composición de minerales presentes en la quinua con otros cereales tradicionales (mg/100 g de peso seco)

Minerales	Quinua			Trigo	Arroz
	USDA (2018)	Palombini et al. (2013)	Jancurová et al. (2009)	USDA (2019)	Moreiras et al. (2013)
Calcio Ca	57	108,41±3,47	148,70	34	10
Hierro Fe	4,57	10,28±0,33	13,20	5,37	0,5
Magnesio Mg	197	298,24±9,55	249,60	90	13
Fosforo P	457	45,86±1,47	38,70	402	100
Potasio K	563	935,70±29,98	926,70	435	110
Sodio Na	5	7,31±0,23	*	2	6
Zinc Zn	3,10	*	4,40	3,46	0,2
Cobre Cu	0,59	1,55±0,05	5,10	0,426	*
Manganeso Mn	2,03	3,41±0,11	*	3,41	*

* valor no encontrado.

La quinua es una fuente de vitaminas liposolubles como hidrosolubles. En su composición posee vitamina B6 (0,20 mg/100 g de peso seco), ácido pantoténico (0,61 mg/100 g de peso seco) y biotina (7,1 g/100 g de peso seco) (Bhargava & Ohri, 2016). Además, Mohyuddin et al. (2019) reportó apreciables cantidades de ácido fólico en la quinua 78,1 mg/100 g de peso seco. Pereira et al. (2019) determinó el contenido proximal de tocoferoles presentes en la quinua, como el α -tocoferol (125-169 ug/100g de peso seco), γ -tocoferol (839-1619 ug/100g de peso seco) y δ -tocoferol (7-17 ug/100g de peso seco). Asimismo, el contenido de carotenoides encontrados en la quinua oscila entre 11,87-17,61 μ g/100 g de peso seco (Tang et al., 2015). En la **Tabla 4** se especifica el contenido de vitaminas presentes en la quinua en relación a otros cereales como el trigo y el arroz.

La proteína de la quinua es particularmente alta en lisina, el aminoácido limitante en la mayoría de los granos de cereales. Su equilibrio de aminoácidos esenciales es excelente debido a que es más amplio que en otros cereales y legumbres, con contenidos más altos de lisina (5,1-6,4%) y metionina (0,4-1%). El contenido de metionina y cisteína de la quinua es similar al de la cebada y la soja, aunque menor que las cantidades del trigo; y mayor contenido de histidina, de los cereales ya antes mencionado. Las proteínas de la quinua tienen niveles adecuados de aminoácidos aromáticos (fenilalanina y tirosina) y de contenidos de histidina, isoleucina, treonina, fenilalanina, tirosina y valina, de acuerdo con los requerimientos sugeridos por la FAO - OMS. En

comparación, 100 g de quinua con 100 g de trigo, la quinua contiene casi cinco veces más lisina; más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina; y cantidades mucho mayores de leucina (todos los aminoácidos esenciales junto con el triptófano). Y contiene aminoácidos no presentes en el trigo como la prolina, el ácido aspártico, el ácido glutámico, la cisteína, la serina y la tirosina (todos ellos aminoácidos no esenciales) (Collar, 2016). En la **Tabla 5** se compara el contenido de aminoácidos esenciales de la quinua en relación a otros cereales como el trigo y el arroz, donde resalta un mayor contenido de lisina, histidina y metionina en la quinua.

2.2. De las hojas

La composición nutricional de las hojas verdes de quinua, como verdura, aún no se conoce del todo, sólo unos pocos investigadores han mencionado los beneficios del consumo de las hojas verdes de la quinua. Sin embargo, se ha descubierto que poseen mayores cantidades de nutrientes y beneficios para la salud que las tradicionales (Yadav et al., 2018). Además, contienen altas cantidades de proteínas, todos los aminoácidos esenciales para los humanos y bajas cantidades de carbohidratos también contienen altos niveles de potasio, manganeso y cobre y niveles moderados de calcio, fósforo, sodio y zinc (Abd, 2018). La **Tabla 6** se centra en la comparación nutricional de las hojas de quinua con otras hortalizas, como el amaranto y espinaca.

Tabla 4

Comparación de la composición de vitaminas presentes en la quinua con otros cereales tradicionales (mg/100 g de peso seco)

Vitaminas	Quinua			Trigo	Arroz
	USDA (2018)	Jancurová et al. (2009)	Gordillo-Bastidas et al. (2016)	USDA (2019)	Moreiras et al. (2013)
Ácido ascórbico C	*	4,00	1,40	*	*
Tiamina B1	0,36	0,38	0,40	0,41	0,05
Riboflavina B2	0,318	0,39	*	0,107	0,03
Niacina B3	1,52	1,06	*	4,77	3,1
Ácido pantoténico B5	1,52	*	0,61	0,85	*
Piridoxina B6	0,487	*	0,3	0,378	0,3
Ácido fólico B9	*	*	78,10	*	*
α -Tocoferol E	2,44	5,37	*	*	0,3

* valor no encontrado.

Tabla 5

Comparación de aminoácidos esenciales presentes en la quinua con otros cereales tradicionales (g/100 g de proteína)

Aminoácidos esenciales	Quinua			Trigo	Arroz
	Nowak et al. (2015)	Präger et al. (2018)	Paucar-Menacho et al. (2018)	Gopalan et al. (2007)	Tirado et al. (2015)
Fenilalanina	6,10	3,50±0,22	4,71±0,07	4,5	9,1
Histidina	2,90	2,48±0,05	2,97±0,11	2,3	2,6
Isoleucina	3,60	3,19±0,06	4,64±0,24	3,3	4,1
Leucina	5,90	5,55±0,12	7,39±0,39	6,7	8,2
Lisina	5,40	4,99±0,08	6,38±0,44	2,8	3,8
Metionina	2,20	1,80±0,02	1,98±0,05	1,5	3,6
Treonina	3,00	3,20±0,07	3,84±0,11	2,8	5,8
Triptófano	1,20	1,11±0,03	1,42±0,29	1,5	*
Valina	4,20	3,80±0,09	6,37±0,13	4,4	*
Cisteína	*	*	2,01±0,35	2,2	*

* valor no encontrado.

Tabla 6

Comparación de la composición nutricional presentes en la hoja de quinua con otras hortalizas (g/100 g de material seco)

Compuestos	Hojas de quinua			Amaranto	Espinaca
	Villacrés et al. (2022)	El-Samad et al. (2018)	Patha et al. (2019)	Aderibigbe et al. (2022)	El-Sayed et al. (2020)
Humedad	5,23±0,17	*	*	11,29	6,35
Carbohidratos	40,78±0,40	*	34,03	65,25	16,40
Proteínas	27,54±0,36	32,18±2,88	37,05	13,56	31,15
Lípidos	3,50±0,21	2,89±0,50	4,50	7,20	3,87
Fibra	8,02±0,24	7,66±0,23	*	6,70	24,26
Cenizas	19,863±0,16	2,85±0,06	*	2,88	17,97
Macroelemento (g/100g)					
Sodio Na	0,05 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,02	*	*
Calcio Ca	2,79 ± 0,28	1,84 ± 0,12	1,54	0,16	2,99
Magnesio Mg	2,26 ± 0,23	1,81 ± 0,18	0,90	0,25	1,43
Fosforo P	0,63 ± 0,25	0,39 ± 0,03	0,41	*	*
Potasio K	4,74 ± 0,21	5,56 ± 0,23	8,77	0,51	3,33
Microelementos (mg/kg)					
Hierro Fe	483,00 ± 1,00	894,8 ± 32,51	11,50	76,10	269,90
Zinc Zn	204,00 ± 2,00	30,32 ± 13,13	67,90	2870	3230,00
Cobre Cu	8,00 ± 0,50	9,83 ± 3,21	11,20	*	7,18
Manganeso Mn	38,00 ± 1,00	59,42 ± 4,0	264,90	33,00	40,80

* valor no encontrado.

Tabla 7

Comparación de aminoácidos esenciales presentes en la quinua con otros cereales tradicionales (g/100 g de peso seco)

Aminoácidos esenciales	Quinua	Amaranto	Espinaca
	Pathan et al. (2019)		Nemzer et al. (2020)
Fenilalanina	1,79	1,45	1,11±0,05
Histidina	0,70	0,57	0,48±0,03
Isoleucina	1,61	1,43	0,90±0,12
Leucina	2,65	2,33	1,77±0,17
Lisina	1,89	1,84	0,92±0,15
Metionina	0,60	0,53	0,37±0,25
Treonina	1,45	1,16	0,95±0,10
Triptófano	1,23	0,84	*
Valina	1,84	1,62	1,15±0,11
Cisteína	*	*	0,26±0,08

* valor no encontrado.

Vazquez-Luna et al. (2019) determinaron el valor nutricional de hojas de quinua, el contenido de polifenoles totales fue 131,8 ± 10,3 mg/100 g y 62,07 ± 5,1 mg/100 g de peso seco; para los flavonoides, los principales compuestos fenólicos fueron el ácido gálico, el kaempferol y la catequina. Además, determinó el contenido de proteínas (11,8 ± 0,6%), carbohidratos (18,3 ± 0,9), azúcares reductores (3,2 ± 0,27%), humedad (2,8 ± 0,9%), cenizas (1,4 ± 0,14%) y fibra bruta (43,7 ± 3,9%). Las hojas de quinua pueden considerarse una alternativa para el consumo humano, ya que ofrecen un interesante potencial en nutrientes y capacidad antioxidante, que es un requisito dietético.

Pathan et al. (2019) compararon el contenido de nutrientes de las hojas de quinua con el de las hojas de amaranto y espinacas. Las hojas secas de quinua mostraron una mayor cantidad (g/100 g de peso seco) de proteínas (37,05) que el amaranto (27,45) y las espinacas (30,00 g). Además, se encontró una menor cantidad de carbohidratos (34,03) en las hojas de quinua en comparación con el amaranto (47,90) y la espinaca (43,78 g). Las cantidades más altas (mg/100 g de peso seco) de minerales en las hojas secas de quinua fueron cobre (1,12), manganeso (26,49) y potasio (8769,00 mg), seguidos por cantidades moderadas de calcio (1535,00), fósforo (405,62), sodio (15,12) y zinc (6,79 mg). Concluyendo una evaluación del potenciar de la hoja

verde de la quinua como fuente principal de proteínas, aminoácidos y minerales en la dieta humana.

Todos los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y la función humana están presentes en las hojas de quinua. Los aminoácidos esenciales como fenilalanina, isoleucina y treonina se encontraron en mayor proporción en las hojas de quinua que en los granos. Además, las hojas presentaron niveles más altos de lisina e isoleucina que los granos de maíz y trigo (Valcárcel-Yamani & Lanes, 2012). Como se puede apreciar en la **Tabla 7** donde se compara la comparación de aminoácidos esenciales presentes en la quinua con el amaranto y espinaca.

3. Componentes bioactivos

Varias investigaciones a lo largo de los años han enfocado sus estudios en los compuestos bioactivos presentes en la quinua, como los ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, esteroides y actividad antioxidante, que están adquiriendo mayor interés por sus propiedades antioxidantes y funcionales (Valencia-Reyes et al., 2021). Y últimamente se ha determinado que las hojas de quinua también son una excelente fuente de componentes bioactivos (Chacaliza-Rodriguez et al., 2016). Esto se puede observar en la **Tabla 8** donde se analiza sus compuestos bioactivos del grano de la quinua y sus hojas.

3.1. Del grano

En el grano de quinua se han identificado al menos 193 metabolitos secundarios en los últimos 40 años. Incluyen principalmente ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, esteroides y compuestos que contienen nitrógeno. Estos metabolitos exhiben muchas funciones fisiológicas y varios tipos de actividades biológicas, tales como propiedades antioxidantes, citotóxicas, antidiabéticas y antiinflamatorias (Lin et al., 2019).

Los compuestos fenólicos son un grupo diverso de fitoquímicos que van desde fenoles simples hasta polifenoles complejos. Estas estructuras químicas comparten la presencia de uno o más grupos hidroxilo los anillos aromáticos (Melini & Melini, 2021). En cereales y pseudocereales, se encuentran comúnmente en las capas exteriores de los granos (Koch, 2019). En la quinua los polifenoles predominantes son los flavonoides tipo flavanoles, entre ellos la quercetina, el kaempferol y al menos 23 compuestos fenólicos más (Balakrishnan & Schneider, 2020). Otros flavonoides también presentes son orientina, vitexina, rutina, morina, hesperidina y neohesperidina (Pasko et al., 2008).

Se ha demostrado que los perfiles fenólicos y su actividad antioxidante de la quinua difieren según el color, además, las semillas de quinua con coloración más oscura, como la quinua negra, muestran mayor contenido de fenólicos y actividad antioxidante que la blanca (Liu et al., 2020). Las semillas de quinua blanca, roja y negras contenían 466,99; 634,66 y 682,05 mg; 682,05 mg kg⁻¹ de fenoles totales, respectivamente (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2010). Siendo el contenido fenólico de la quinua mayor que el de los granos enteros, como el trigo, la cebada mijo, arroz y trigo sarraceno (Asao & Watanabe, 2010).

En el amplio espectro de flavonoides y ácidos fenólicos que posee la quinua, la colocan como un potencial "nutracéutico" o "alimento funcional", por lo que su ingesta contribuye a mantener la salud y el bienestar de sus consumidores, y simultáneamente reduciendo el riesgo de aparición de enfermedades no transmisibles gracias a su actividad antioxidante, antiinflamatoria y antiproliferativa (Koch, 2019), además de ello previenen y tratan padecimientos crónicos (Razzeto et al., 2019), como la diabetes, el cáncer, los problemas cardiovasculares, las infecciones, las enfermedades neurodegenerativas y otros (Esfanjani et al., 2018).

En recientes publicaciones se ha reportado la presencia de betalainas, principalmente betanina e isobetanina, mayormente quinuas de color rojo y negro, y se ha reportado

que el contenido de los pigmentos betalámicos pueden variar entre 0,15 a 6,10 mg/100 g (Tang et al., 2015), mientras Valencia et al. (2017), encontró valores entre 0,278 y 0,883 mg/100 g para betacianinas, y entre 1,139 y 13,760 mg/100 g para las betaxantinas. Las betalainas últimamente han ganado popularidad como ingrediente de alimentos funcionales debido a sus propiedades actividades antioxidantes, anticancerígenas, antilipídicas y antimicrobianas (Gandia-Herrero et al., 2016).

Un número limitado de investigaciones han indagado sobre la presencia de carotenoides en las semillas de quinua, donde estos cumplen la función de proteger la clorofila del daño inducido por la luz, además valiosos para la salud humana por su capacidad antioxidante (Muller et al., 2016). Pocos estudios han examinado el contenido total de carotenoides en las semillas de quinua (Dini et al., 2010). El total de carotenoides encontrados en la quinua varían en función del color de la semilla y de la estructura genética, las semillas de quinua blanca, roja y negra contienen 11,87 14,97 y 17,71 µg/g de carotenoides totales, respectivamente (Tang et al., 2015).

La saponina se encuentra presente principalmente en el salvado (aproximadamente el 34%) para proteger la quinua de plagas y herbívoros (aves e insectos) y microorganismos patógenos (Ruiz et al., 2017). Las cuales son metabolitos secundarios con un fuerte sabor amargo (El-Hazzam et al., 2020). Se puede diferenciar dos tipos de genotipos con respecto a la saponina, el genotipo "dulce" (20-40 mg de saponina/g de peso seco) y el genotipo "amargo" (140-2300 mg de saponina/g de peso seco) (Hernández-Ledesma, 2019). El sabor amargo asociado a las saponinas (triterpenoides) limita el uso de la quinua como alimento. Por ello para eliminar dicho sabor las semillas deben ser molidas y eliminar el salvado para que sean comestibles. Otro método es el lavado, debido a la alta solubilidad en agua de las saponinas (Suarez-Estrella et al., 2018). Ya que el contacto directo entre la sangre y las saponinas puede causar hemólisis, la toxicidad de las saponinas es baja después de la ingestión oral (Graf et al., 2014).

3.2. De las hojas

Se han publicado muchos artículos de investigación y revisión sobre los componentes nutricionales y bioactivos de los granos de quinua. Sin embargo, solo unos pocos investigadores tratan sobre las hojas de quinua, tanto como su composición nutricional, fitoquímica y sus beneficios para la salud humana (Pathan & Siddiqui, 2022).

Tabla 8

Componentes bioactivos en la quinua y hojas

Muestra	Contenido Fenólico Total (mg GAE 100 g ⁻¹ DW)	Contenido Flavonoide Total (mg QE 100 g ⁻¹ DW)	Capacidad Antioxidante (DPPH) (mg TE 100 g ⁻¹ DW)	Referencias
Grano	43,2±0,28	11,4±0,08	84,46±5,90	Kaur et al. (2016)
	39,29 ± 0,92	11,06 ± 0,42	13,61 ± 1,10	Carciocchi et al. (2014)
	26,25	53,15	*	Abdelaleem & Elbassiony (2021)
Hojas	418,00 - 544,00	14,00 - 23,00	29,90 - 55,40	Abd El-Samad et al. (2018)
	10,55 - 10,75	8,69 - 9,14	46,00 - 62,65	Chacaliza-Rodríguez et al. (2016)
	16,03 - 16,10	2,02 - 2,54	*	Zlotek et al. (2019)

* valor no encontrado.

Tabla 9

Efecto de diversos tratamientos térmicos sobre los compuestos bioactivos de quinua

Tratamientos	Parámetros Óptimos	Resultados del efecto del tratamiento	Referencias
Tostado	100 °C x 15 min	Flavonoides totales: 332,86 ± 0,86 a 421,43 ± 14,19 mg QE/g ms (+26,6%) Fenólicos totales: 135,63 ± 5,46 a 176,75 ± 13,07 mg GAE/g (+30,3%)	Babiker et al. (2021)
Tostado	110 °C x 30 min	Polifenoles totales: de 230,257 a 343,317 mg AG/100g ms (+49,1%) Capacidad antioxidante: 1666,58 a 1161,42 µg ET/g (-30,3%)	Torres (2019)
Tostado	180±20 °C x 5 min	Flavonoides totales: 13,27 ± 0,37 a 13,29 ± 0,09 mg QE/g ms (+0,2%) Fenólicos totales: 1,55 ± 0,04 a 2,05 ± 0,01 mg GAE/g (+32,2%) Actividad antioxidante (DPPH): 10,11 ± 0,21 a 12,65 ± 0,58 µmol TE/g (+25,1%)	Sharma et al. (2022)
Tostado	190 °C x 30 min	Flavonoides totales: 0,37 ± 0,03 a 3,98 ± 0,01 mg/100 g ms (+975,7%) Compuestos fenólicos totales: 2,13 ± 0,06 a 19,28 ± 0,02 mg/100 g ms (+805,2%)	Carciocchi et al. (2016)
Tostado	220 °C x 20 min	Flavonoides totales: 52,925±2,637 a 81,279 ± 1,210 mg QE/100 g ms (+53.6%) Fenoles totales: 121,617±1,974 a 253,351 ± 7,827 mg GAE/100 g ms (+108.3%)	Jin, et al. (2021)
Inflado	Aire caliente a 180 °C x 2 min	Ácidos fenólicos: 151.43±1.22 a 110.05±5.24 µg/g ms (-26.8%) Flavonoides: 534.99±4.13 a 674.58±0.35 µg/g ms (+26.1%)	Paucar-Menacho et al. (2018)
Malteado y Tostado	Germinación a 23 °C x 3 días y tostado a 145 °C x 30 min	Flavonoides totales: 11,06 a 41,71 mg QE/100 g ms (+277,1%) Fenoles totales: 39,29 a 143,29 mg GAE/100 g ms (+264,7%) Compuestos fenólicos totales: 2,13 ± 0,06 a 39,23 ± 0,27 mg/100g ms (+1741.8%)	Carciocchi et al. (2016)
Cocción a presión	Cocción en olla a presión con agua (1:3 p/v) x 6 min	Fenoles totales: 97,60 ± 5,65 a 127,54 ± 7,22 mg GAE/100 g ms (+30,6%) Actividad antioxidante (DPPH): 30,34 ± 0,42 a 32,13 ± 0,10 mgTE/100 g (+5,9%)	Nickel et al. (2016)

Las hojas de quinua presentaron mayor contenido proteico que los granos, así como nutrientes inorgánicos como calcio, fósforo, hierro y zinc. Tanto los granos como las hojas tienen un contenido fenólico considerable. Además, los granos de quinua presentaron mayor contenido de saponina que las hojas, mientras que las hojas contenían más nitratos y oxalatos que los granos (Villacrés et al., 2022). Las hojas de quinua no contienen gluten y proporcionan una excelente fuente de proteínas, aminoácidos, minerales esenciales y ácidos grasos omega-3 (Pathan & Siddiqui, 2022).

Varios estudios han indicado que las hojas de quinua pueden servir potencialmente como una fuente rica de compuestos fenólicos, caracterizada por un amplio espectro de actividades biológicas, que incluyen el potencial antioxidante y los efectos citostáticos. Debido a que se ha sugerido el alto potencial nutraceutico de estos compuestos, las observaciones sugieren que las hojas de quinua podrían introducirse en la dieta estándar como una verdura de hoja verde y nutritivamente valiosa (Gawlik-Dziki, et al., 2013). Las cantidades representativas de carotenoides en las hojas de quinua son de gran beneficio para la salud humana, y al incorporarlos en la alimentación diaria disminuye los riesgos de contraer los diferentes tipos de cáncer, degeneración muscular, cataratas entre otras, acción que se debe a la capacidad de los carotenoides por atrapar oxígeno singlete (Ventosa et al., 2008).

Las hojas, presentan un considerable efecto antioxidante, atribuible a los flavonoides totales (1,46 - 2,61 mg CAE/g muestra) y a los compuestos fenólicos (11,71 mg GAE/g de muestra seca) (Malpartida, 2017). Las hojas tienen aproximadamente 82 - 190 mg/kg de carotenoides, 1,2 - 2,3 mg/kg de vitamina C y 27 - 30 mg/kg de proteínas. Estudio sobre hojas frescas revelaron humedad abundante (83,92 - 89,11%), clorofila a (0,48 - 1,82 mg/g), clorofila B (0,25 - 0,07 mg/g) y una cantidad mucho mayor de carotenoides foliares (230,23 - 669,57 mg/kg) (Bhargava et al.,

2006). Chacaliza-Rodríguez et al. (2016), determinó el contenido de componentes biológicamente activos en hojas de dos cultivares de quinua (Salcedo y Altiplano) producidos en Perú, donde el contenido de polifenoles totales y flavonoides totales es similar en ambas muestras para Salcedo (10,55 mg GAE/g y 8,69 mg/g) y Altiplano (10,72 mg GAE/g y 9,14 mg/g) respectivamente.

4. Impacto del tratamiento térmico

Al igual que la mayoría de otros granos, las semillas de quinua deben pasar por ciertos tratamientos térmicos de preprocesamiento antes del consumo doméstico o durante los protocolos de producción industriales, en los que ocurren muchos cambios según el tratamiento, la duración del procesamiento y los granos que se evalúan (Kataria et al., 2021). Además, el procesamiento de granos ha demostrado un papel importante en la mejora de los componentes nutricionales, especialmente los compuestos bioactivos, como se observa en la Tabla 9 donde se compara el efecto de diversos tratamientos sobre los compuestos bioactivos de la quinua.

Como se ha demostrado anteriormente el procesamiento utilizado en alimentos puede afectar los compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante; tales procesos pueden ejercer una reducción, un aumento o mantenimiento de estas propiedades (Nickel et al., 2016). Algunos tratamientos térmicos, como la cocción, el horneado o el secado pueden afectar los componentes nutricionales y contribuir a la oxidación de proteínas, la degradación del triptófano y la carbonilación de proteínas (Soladoye et al., 2015), el secado tiene diversos efectos sobre el contenido fenólico y los carotenoides (Multari et al., 2018). Además de mejorar las propiedades funcionales que influyen principalmente en la textura y propiedades organolépticas (Sharma et al., 2022). Los tratamientos como extrusión y tostado, en la harina de quinua resultan

favorables, por contribuir a la degradación de las moléculas de saponina (Brady et al., 2007).

Paucar-Menacho et al. (2018) comparó el perfil nutricional de la quinua en forma natural y la quinua expandida o popeada, la última resultó conservar en gran medida su perfil nutricional y los aminoácidos, donde los ácidos hidroxicinámico e hidroxibenzoico fueron los principales compuestos afectados por el calentamiento en seco, a pesar de ello se observó que la composición de aminoácidos de las proteínas era de calidad adecuada, según los requisitos de la FAO/OMS. Al final el inflado o popeado de la quinua mejoró la liberación de flavonoides. La quinua hervida presenta ligeramente menor contenido de proteína bruta, grasa bruta, ceniza y almidón. A comparación de la cocción al vapor/tostado donde este no causa diferencias significativas en la composición proximal. En el caso del contenido total de fenoles y flavonoides de los extractos de quinua, se detectó una mayor reducción con el tratamiento de hervido que con el de cocción a vapor. Dichos tratamientos también redujeron la luminosidad, aumentaron el color amarillento de las muestras de quinua y aumentaron el índice de absorción de agua, pero disminuyeron el índice de solubilidad en agua. La hidrólisis del almidón in vitro aumentó sustancialmente después de ambos tratamientos térmicos (Goh & Lee, 2017).

Los procesos de cocción al vapor destruyeron en gran medida la estructura del tejido de la quinua, lo que provocó una pérdida significativa de componentes fenólicos/flavonoides y la disminución de la capacidad antioxidante. El proceso de horneado tuvo un impacto

mínimo en la estructura del tejido y los componentes activos debido a la protección del eje hipocotilo-radícula (Gu et al., 2021).

Durante muchos años, el procesamiento por irradiación fue considerado como un método físico no térmico o en frío para conservar los alimentos y productos alimenticios, mediante la exposición de los alimentos a la radiación ionizante (Antonio et al., 2012). La irradiación sometida en la quinua mostró ligeras diferencias en el contenido de saponina tras la exposición a 3 y 6 kGy (kiloGray). Además, se demostró que el contenido fenólico total aumentó 34,52 - 30,92 mg GAE/100g comparado con los 26,25 mg GAE/100g en la quinua no irradiada; el contenido total de flavonoides aumento de 67,44 - 62,89 mg QE/100g a 53,15 mg de QE/100g (Abdelaleem & Elbassiony, 2021). Similar a lo descubierto por Harrison & Were (2007), donde demostraron que la irradiación gamma aumentó el contenido fenólico en la piel de las almendras, así como en la canela y el clavo. Sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos no cambió en la nuez moscada.

5. Impacto de la germinación

La germinación es un método ampliamente practicado para mejorar el valor nutricional y reducir sus factores antinutricionales de las semillas (Padmashree et al., 2018). Incorpora una serie de eventos que comienzan con la absorción de agua por parte de la semilla y terminan con la elongación del eje del embrión. La posterior movilización de las principales reservas de almacenamiento está asociada al crecimiento del brote (Benincasa et al., 2019).

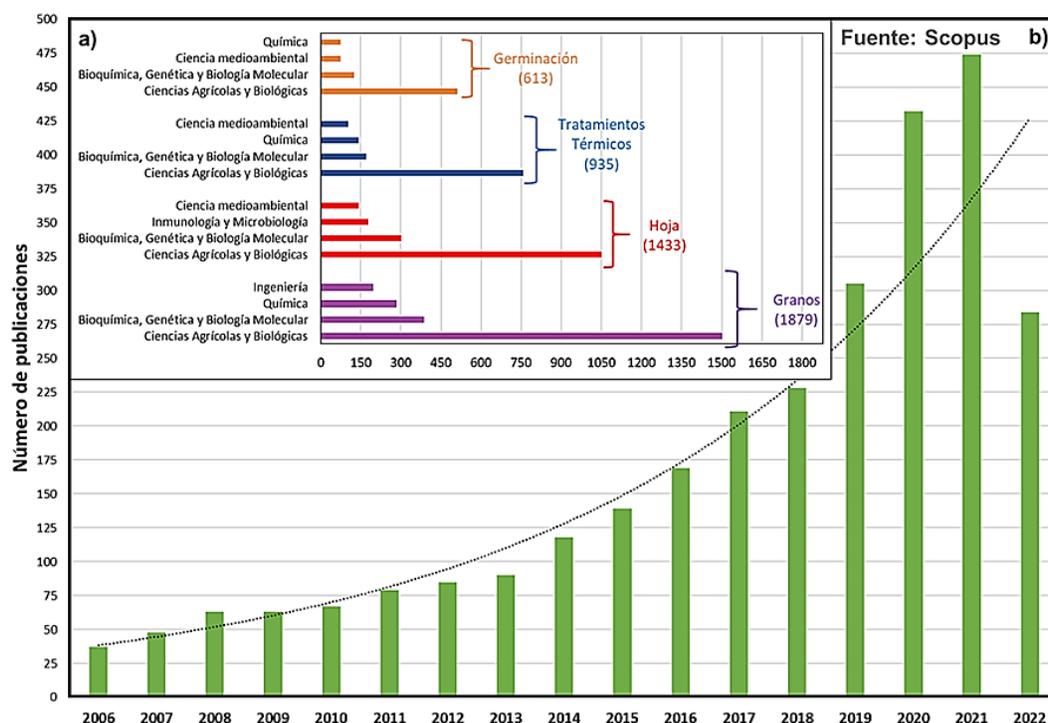


Figura 2. Número de publicaciones de artículos científicos sobre la quinua. (a) Información obtenida de la base de datos Scopus (criterios de búsqueda: ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS: "Quinoa" y ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS: "subject areas"). (b) Información obtenida de la base de datos Scopus (criterios de búsqueda: KEYWORDS: " Quinoa" y tipo de DOCUMENT TYPE: "ALL").

Durante la germinación, se producen numerosos cambios bioquímicos que generan la movilización, la acumulación y el metabolismo de nutrientes y otros fitoquímicos, una reducción de los componentes antinutricionales y por consiguiente una mejora de la calidad nutricional del grano (Gawlik-Dziki et al., 2013). Las reacciones que ocurren en el grano conducen a modificaciones estructurales y la síntesis de nuevos compuestos (Singh et al., 2015). Tanto la composición química como el valor nutricional de los granos están altamente influenciados por el proceso de germinación. Como se ha indicado anteriormente, la germinación de los granos de cereales y pseudocereales provoca un aumento general del valor nutricional y de las propiedades antioxidantes lo que posiblemente ejerce efectos promotores de la salud y reduce el riesgo de varias enfermedades. (Pilco-Quesada et al., 2020). Los germinados son considerados como alimentos funcionales que facilitan su asimilación y aprovechamiento de nutrientes en el organismo (Snagronis & Machado, 2007).

Se ha demostrado que la germinación aumenta el contenido mineral y reduce significativamente estos componentes antinutricionales presentes en ella como las saponinas y el ácido fítico, y otros como el tanino, el inhibidor de la tripsina y el oxalato presentes en cantidades mínimas (Bhinder et al., 2021).

Según Darwish et al. (2020), la germinación de las semillas de quinua aumenta los contenidos de hierro, calcio y zinc en un 39,43, 49,04 y 20,25%; la vitamina C y los carotenoides en un 32,17 y 26,02%, respectivamente; disminuya los factores antinutricionales como la saponina, ácido fítico y taninos en un 59,60, 50,0 y 11,32%, respectivamente. Además, la germinación aumenta significativamente el contenido fenólico total en la quinua, mejorando la calidad nutricional. Donde el contenido fenólico total de la quinua roja y amarilla aumenta en más del 200% después de 6 días de germinación (Al-Qabba et al., 2020).

Paucar-Menacho et al. (2017) evaluó la influencia de la germinación en la quinua, concluyendo que el tiempo de germinación y la temperatura son factores clave que afectan a la bioactividad de los brotes. Definió que la germinación en condiciones óptimas de 42 h y 20°C provocó un marcado incremento de 1,8 veces el contenido fenólico total y 1,3 veces la actividad antioxidante, además de una mayor concentración de flavonoides y compuesto no flavonoides.

6. Retos actuales y futuros

La quinua ha sido intensamente investigada a lo largo de los años, principalmente su composición nutricional y su perfil de compuestos bioactivos. Pero actualmente, la atención se ha centrado en la hoja de la quinua, donde se ha demostrado que presenta un perfil nutricional similar o mejor, en algunos aspectos, que la quinua misma (Sharma et al., 2022), la Figura 2 refleja que actualmente hay pocos artículos publicados que se centran en investigar las virtudes de la hoja de quinua, la gran mayoría de publicaciones se centran más en sus propiedades botánicas y agrícolas en sí, dejando de lado las propiedades nutricionales de la hoja. En contra posición hay un creciente interés sobre el efecto de diversos tratamientos térmicos en quinua, que ocasionan una mejora en sus compuestos bioactivos, semejante a los granos andinos germinados, donde las última publicaciones centran su atención en la mejora nutricional que

proporciona y la oportunidad de su utilización que esto conlleva.

Las hojas de quinua representan un nuevo insumo vegetal prometedor de valor agregado que podría resolver los problemas de desnutrición y contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional. Sin embargo, el consumo de hojas de quinua como verdura no es común hoy en día. Las verduras se pueden comer como vegetales cocidos y ensaladas. Además, las hojas de quinua se pueden combinar como ingredientes alimentarios funcionales en otros productos alimenticios sin gluten. Se necesita más investigación para dibujar una imagen completa de la importancia nutricional y funcional para la salud humana y crear conciencia sobre el uso de hojas de quinua en la dieta humana como nuevos "súper vegetales" (Pathan & Siddiqui, 2022).

El procesamiento térmico mejora la tecnobiofuncionalidad de la quinua, que puede ser utilizada en protocolos industriales convencionales para la preparación de productos autóctonos y especiales, fomentando la incorporación y el consumo de quinua cruda y procesada térmicamente en alimentos funcionales. También, la germinación es una propuesta excelente que puede mejorar la calidad nutricional y proporciona una mayor biodisponibilidad de los nutrientes de este grano andino, fomentando así el uso de los granos germinados procesados como ingredientes en productos funcionales para personas con dietas especiales sin gluten o vegetarianas. (Repo-Carrasco-Valencia & Vidaurre-Ruiz, 2019).

7. Conclusiones

Las investigaciones científicas sobre quinua, en los últimos años, han destacado ampliamente gracias a sus propiedades nutricionales y funcionales, esto debido a que es uno de los pocos alimentos que posee en su composición todos los aminoácidos esenciales y una amplia gama de compuestos bioactivos, logrando ser la mejor opción para combatir la desnutrición y prevenir enfermedades. Estas investigaciones también han destacado la importancia nutricional y la capacidad antioxidante que las hojas de la quinua tienen, dado su alto contenido proteico, su contenido de compuestos fenólicos y una amplia gama de compuestos bioactivos, convirtiéndose así en un alimento saludable por sus altas cantidades de nutrientes y beneficios para la salud.

Una forma de enriquecer o mejorar la cantidad de compuestos bioactivos en la quinua es por medio de la aplicación de tratamientos térmicos y por procesos de germinación, que según lo documentado proporciona un aumento sobre los compuestos bioactivos con relación a las semillas sin germinar. El procesamiento de alimentos por tratamientos térmicos, afectan de forma positiva sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en el producto terminado. Además, se ha demostrado que el proceso de germinación de la quinua logra aumentar notablemente el contenido de sus compuestos bioactivos y además mejora su biodisponibilidad de los mismos, debido a la síntesis de sus compuestos.

Se recomienda estudiar la aplicación de la germinación y procesos térmicos en la elaboración de productos funcionales, y fomentar el consumo de la hoja de quinua, como insumo para posibles aplicaciones en productos alimenticios innovadores.

ORCID

J. Campos-Rodriguez  <https://orcid.org/0000-0002-1769-4761>

K. Acosta-Coral  <https://orcid.org/0000-0002-6825-9903>

L. M. Paucar-Menacho  <https://orcid.org/0000-0001-5349-6167>

Referencias bibliográficas

- Abd, E. H., Hussin, S. A., El-Naggar, A. M., El-Bordeny, N. E., & Eisa, S. S. (2018). The potential use of quinoa as a new non-traditional leafy vegetable crop. *Bioscience Research*, 15(4), 3387-3403.
- Abdelaleem, M., & Elbassiony, K. (2021). Evaluation of phytochemicals and antioxidant activity of gamma irradiated quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Brazilian Journal of Biology*, 81(3), 806-813.
- Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2022). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3), 656-669.
- ALADI & FAO (2014). Tendencias y Perspectivas del comercio Internacional de la Quinoa. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Al-Qabba, M. M., El-Mowafy, M. A., Althwab, S. A., Alfheaid, H. A., Aljutaily, T., & Barakat, H. (2020). Phenolic profile, antioxidant activity, and ameliorating efficacy of *Chenopodium quinoa* sprouts against CCl₄-induced oxidative stress in rats. *Nutrients*, 12(10), 2904.
- Antonio, A. L., Carochi, M., Bento, A., Quintana, B., Botelho, M., & Ferreira, I. C. (2012). Effects of gamma radiation on the biological, physicochemical, nutritional and antioxidant parameters of chestnuts – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 50(9), 3234-3242.
- Asao, M., & Watanabe, K. (2010). Functional and bioactive properties of quinoa and amaranth. *Food Science and Technology Research*, 16, 163-168.
- Babiker, E. E., Uslu, N., Ghafoor, K., AL-Juhaimi, F., Özcan, M. M., & Ahmed, I. A. M. (2022). Variations in bioactive properties, fatty acid compositions, and phenolic compounds of quinoa grain and oils roasted in a pan. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16161.
- Balakrishnan, G., & Schneider, R. G. (2020). Quinoa flavonoids and their bioaccessibility during in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Cereal Science*, 95, 103070.
- Basantes-Morales, E., Alconada, M., & Pantoja, J. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production in the Andean region: challenges and potentials. *Journal of Experimental Agriculture International*, 36(6), 1-18.
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11(2), 1-29.
- Bhargava, A., & Ohri, D. (2016). Origin of Genetic Variability and Improvement of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). En V., Rajpal, S., Rao, S. Raina (Eds.), *Gene Pool Diversity and Crop Improvement* (pp. 241-270). Springer International Publishing.
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73-87.
- Bhinder, S., Kumari, S., Singh, B., Kaur, A., & Singh, N. (2021). Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chemistry*, 346, 128915.
- Carciochi, R., Galván, L., & Manrique, G. (2016). Effect of roasting conditions on the antioxidant compounds of quinoa seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 1018-1025.
- Carciochi, R., Manrique, G., & Dimitrov, K. (2014). Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Food Research Journal* 21(2), 767-773.
- Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T., & Avila-George, H. (2017). Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color. *Journal of Cereal Science*, 74, 194-199.
- Chacaliza-Rodriguez, L., Espinoza-Begazo, G., Ramos-Escudero, F., & Servan, K. (2016). Proximate chemical composition and content of biologically active components in leaves of two quinoa cultivars (Salcedo and Altiplano) produced in Peru. *Research Journal of Medicinal Plants*, 10, 450-456.
- Collar, C. (2016). Quinoa. En B., Caballero, P. M., Finglas, F. Toldrà (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 573-579). Academic Press.
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Marzieh, S., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. *Food Chemistry*, 299, 125-161.
- Darwish, A. M., Al-Jumayy, H. A., & Elhendy, H. A. (2020). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague-Dawley male albino rats. *Cereal Chemistry*, 98(2), 315-327.
- Dini, I., Tenore, G. C., & Dini, A. (2010). Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 43(3), 447-451.
- El-Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourite, M., et al. (2020). An insight into saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review. *Molecules*, 25(5), 1059.
- El-Samad, E., Hussin, S., El-Naggar, A., El-Bordeny, N., & Eisa, S. (2018). The potential use of quinoa as a new non-traditional leafy vegetable crop. *Bioscience Research*, 15(4), 3387-3403.
- El-Sayed, S. M. (2020). Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese. *Heliyon*, 6(1), e03278.
- Elsohaimy, S. A., Refaay, T. M., & Zaytoun, M. A. M. (2015). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305.
- Esfanjani, A., Assadpour, E., & Jafari, S. (2018). Improving the bioavailability of phenolic compounds by loading them within lipid-based nanocarriers. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 56-66.
- Gamboa, C., Van, G., & Maertens, M. (2018). Smallholders' Preferences for Improved Quinoa Varieties in the Peruvian Andes. *Sustainability*, 10(10), 3735.
- Gan, R. Y., Lui, W. Y., Wu, K., Chan, C. L., Dai, S. H., Sui, Z. Q., & Corke, H. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: an updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1-14.
- Gandia-Herrero, F., Escribano, J., & Garcia-Carmona, F. (2016). Biological activities of plant pigments betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 937-945.
- Garcia-Mazcorro, J. F., Mills, D., & Noratto, G. (2016). Molecular exploration of fecal microbiome in quinoa-supplemented obese mice. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(7), fiw089.
- Gawlik-Dziki, U., Swieca, M., Sułkowski, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyż, J. (2013). Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts – In vitro study. *Food and Chemical Toxicology*, 57, 154-160.
- Goh, H., & Lee, Y. (2017). Effects of heat treatments on physicochemical properties and in vitro biological activities of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 46(6), 688-694.
- Gomez, L., & Eguiluz, A. (2011). Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinoa. Lima, Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- González-García, S., Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *Science of The Total Environment*, 644, 77-94.

- Gordillo-Bastidas, E., Díaz-Rizzolo, D. A., Roura, E., Massanés, T. & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6(3), 1000497.
- Graf, B. L., Poulev, A., Kuhn, P., Grace, M. H., Lila, M. A., & Raskin, I. (2014). Quinoa seeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties. *Food Chemistry*, 163, 178–185.
- Gu, R., Chang, X., Bai, G., Li, X., Di, Y., et al. (2021). Effects of household cooking methods on changes of tissue structure, phenolic antioxidant capacity and active component bioaccessibility of quinoa. *Food Chemistry*, 350, 129138.
- Harrison, K., & Were, L. (2007). Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts. *Food Chemistry*, 102(3), 932–937.
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as source of bioactive compounds: A review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27–47.
- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandár, A. (2009). Quinoa – A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71–79.
- Jin, M., Jeon, A., Kwon, J., Kim, N., & Kim, Y. (2021). Effects of roasting temperature on quality characteristics and biological activity of quinoa. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 36(3), 308–316.
- Kaur, I., Tanwar, B., Reddy, M., & Chauhan, A. (2016). Vitamin C, total polyphenols and antioxidant activity in raw, domestically processed and industrially processed Indian *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 6(4), 139–145.
- Ketharin, T., Shie, L., Paulraj, P., Javad, P., Sajeesh, P., et al. (2019). Effect of heat treatment on the bioactive components and antioxidant activity in selected dry beans and nuts. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(2), 915–922.
- Koch, W. (2019). Dietary polyphenols—important non-nutrients in the prevention of chronic noncommunicable diseases. *Systematic Reviews*, 11, 1039.
- Lin, M., Han, P., Li, Y., Wang, W., Lai, D., & Zhou, L. (2019). Quinoa secondary metabolites and their biological activities or functions. *Molecules*, 24(13), 2512.
- Liu, M., Zhu, K., Yao, Y., Chen, Y., Guo, H., et al. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of phenolic compounds from white, red, and black *Chenopodium quinoa* seed. *Cereal Chemistry*, 97(3), 703–713.
- Maghsoudlou, Y., Asghari, M., & Tavasoli, S. (2019). Effects of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of quince fruit and its tisane's sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2365–2372.
- Malpartida, S. (2017). *Caracterización nutricional y compuestos bioactivos de las hojas de ocho variedades comerciales de quinua (Chenopodium quinoa w.)*. (Tesis de título). Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Perú.
- Mamani, D., Gutierrez M., Serrudo J., & Gonzales, E. (2017). Parámetros de calidad de harinas de *Amaranthus caudatus* Linnaeus (amaranto), *Chenopodium quinoa* Willd (quinua), *Chenopodium pallidicaule* Aellen (kañahua), *Lupinus mutabilis* Sweet (tarwi). *Revista CON-CIENCIA*, 5(1), 27–38.
- Melini, F., & Melini, V. (2021). Impact of fermentation on phenolic compounds and antioxidant capacity of quinoa. *Fermentation*, 7(1), 20.
- Mohyuddin, S., Riaz, A., Qamar, A., Ali, S., Hu, C., et al. (2019). Quinoa is beneficial to the comprehensive nutritional value of potential health. *Pakistan Journal of Science*, 71(2), 69–74.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos*. Pirámide.
- Muller, L., Caris-Veyrat, C., Lowe, G., & Bohm, V. (2016). Lycopene and its antioxidant role in the prevention of cardiovascular diseases - A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 1868–1879.
- Multari, S., Marsol-Vall, A., Keskitalo, M., Yang, B., & Suomela, J. P. (2018). Effects of different drying temperatures on the content of phenolic compounds and carotenoids in quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) from Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 75–82.
- Nemzer, B., Al-Ta'her, F., & Abshiru, N. (2020). Phytochemical composition and nutritional value of different plant parts in two cultivated and wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) genotypes. *Food Chemistry*, 320(2), 126621–126630
- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A., & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food Chemistry*, 209, 139–143.
- Nowak, V., Du, J., & Charrondière, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54.
- Padmashree, A., Negi, N., Handu, S., Khan, M. A., Semwal, A. D., & Sharma, G. K. (2018). Effect of germination on nutritional, antinutritional and rheological characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Defence Life Science Journal*, 4(1), 55–60.
- Palombini, S. V., Claus, T., Maruyama, S. A., Gohara, A. K., Souza, A. H. P., et al. (2013). Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars. *Food Science and Technology*, 33(2), 339–344.
- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, 14(3), 1–12.
- Pathan, S., Eivazi, F., Valliyodan, B., Paul, K., Ndunguru, G., & Clark, K. (2019). Nutritional Composition of the Green Leaves of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Research*, 8(6), 55–65.
- Paucar-Menacho, L., Dueñas, M., Peñas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2018). Effect of dry heat puffing on nutritional composition, fatty acid, amino acid and phenolic profiles of pseudocereals grains. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(4), 289–297.
- Paucar-Menacho, L., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J., & Penas, E. (2017). Response surface optimisation of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science and Technology*. 53(2), 516–524.
- Paucar-Menacho, L., Peñas, E., Dueñas, M., & Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *Food Science and Technology*, 76, 245–252.
- Peiretti, P., Gai, F., & Tassone, S. (2013). Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1), 56–61.
- Peñas, E., Uberti, F., Lorenzo, C., Ballabio, C., Brandolini, A., & Restani, P. (2014). Biochemical and immunochemical evidences supporting the inclusion of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a gluten-free ingredient. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 297–303.
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & Ferreira C.F.R., (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa). *Food Chemistry*, 280, 110–114.
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, R., & Suomela, J. P. (2020). Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 90, 102996.
- Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P., Mast, B., & Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, 8(10), 197.

- Ramírez, G., & Estefano, M. (2018). *Características funcionales y nutricionales de la quinua y el amaranto, para mejorar el estado nutricional de los preescolares en Ecuador* (Tesis de Licenciatura). Universidad Estatal De Milagro, Milagro, Ecuador.
- Ramos, A., Limaylla, K., Romero, T., & Lopes, F. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 3(1), 23-33.
- Razzeto, G., Uñates, M., Moreno, J., López, R., Aguilar, E., et al. (2019). Evaluation and comparative study of the nutritional profile and antioxidant potential of new quinoa varieties. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 3(3), 1-11.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Vidaurre-Ruiz, J. (2019). Quinoa and Other Andean Ancient Grains: Super Grains for the Future. *Cereal Foods World*, 6(5), 1-10.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellstrom, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120, 128-133.
- Rojas, W., Vargas, A., & Pinto, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 114-124.
- Ruiz, K. B., Khakimov, B., Engelsen, S. B., Bak, S., Biondi, S., & Jacobsen, S. E. (2017). Quinoa seed coats as an expanding and sustainable source of bioactive compounds: An investigation of genotypic diversity in saponin profiles. *Industrial Crops and Products*, 104, 156-163.
- Sharma, S., Kataria, A., & Singh, B. (2022). Effect of thermal processing on the bioactive compounds, antioxidative, antinutritional and functional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *LWT*, 160, 113256.
- Shi, D., Fidelis, M., Ren, Y., Stone, A. K., Ai, Y., & Nickerson, M. T. (2020). The functional attributes of Peruvian (Kankolla and Blanca juli blend) and Northern quinoa (NQ94PT) flours and protein isolates, and their protein quality. *Food Research International*, 128, 108799.
- Singh, A., Rehal, J., Kaur, A., & Jyot, G. (2015). Enhancement of attributes of cereal by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1575-1589.
- Snagronis, E., & Machado, C. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 116-120.
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P., & Estévez, M. (2015). Protein oxidation in processed meat: Mechanisms and potential implications on human health. *Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety*, 14, 106-122.
- Son, A. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T., Pinheiro, H. M., Chaves, J. B., & Coimbra, J. S. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618-1630.
- Stoleru, V., Jacobsen, S. E., Vitanescu, M., Jitareanu, G., Butnariu, M., et al. (2022). Nutritional and antinutritional compounds in leaves of quinoa. *Food Bioscience*, 45, 101494.
- Suarez-Estrella, D., Torri, L., Pagni, M. A., & Marti, A. (2018). Quinoa bitterness: Causes and solutions for improving product acceptability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 4033-4041.
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterization of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, 166, 380-388.
- Tanwar, B., Goyal, A., Irshaan, S., Kumar, V., Sihag, M. K., Patel, A., & Kaur, I. (2019). Quinoa. En J., Johnson, T., Wallace (Eds.), *Whole Grains and their Bioactives: Composition and Health* (pp. 269-305). John Wiley & Sons Ltd.
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Aceptabilidad sensorial y calidad microbiológica de bebidas a base de arroz y plasma bovino y porcino. *Información Tecnológica*, 26(6), 45-54.
- Torres, J. (2019). Efecto comparativo de las variaciones producidas en los constituyentes funcionales y capacidad antioxidante durante el procesamiento de harinas tostadas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). Tesis de maestría. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Perú.
- Valcárcel-Yamani, B., & Lannes, S. (2012). Aplicaciones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y amaranto (*Amaranthus* spp.) y su influencia en el valor nutritivo de alimentos a base de cereales. *Salud pública alimentaria*, 2, 265-275.
- Valencia, Z., Cámaraa, F., Ccapab, K., Atacorab, P., & Quispeb, F. (2017). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(1), 16-29.
- Valencia-Reyes, Z., Güere, F., Zorrilla-Tarazona, E., Fuster-Guillen, D., & Vertiz-Osores, J. (2021). Efecto de la cocción en el contenido de compuestos bioactivos en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de diferentes variedades de Perú. *Revista Científica Nexa*, 36(6), 1550-1561.
- Vargas, P., Arteaga, R., & Cruz, L. (2019). Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Centro Azúcar*, 46(4), 89-100.
- Vazquez-Luna, A., Cortés, V. P., Carmona, F. F., & Díaz-Sobac, R. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 137-143.
- Ventosa, M., Rodríguez, J., & Zerquera, O. (2008). Determinación de los principales carotenoides de la guayaba (*Psidium guajava* L.). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(1), 1-3.
- Vilcacundo, R., & Hernández, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6.
- Villacrés, E., Quelal, M., Galarza, S., Iza, D., & Silva, E. (2022). Nutritional value and bioactive compounds of leaves and grains from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 11(2), 1-11.
- Yadav, R. K., Tomar, B. S., Pachauri, N., & Jain, V. (2018). Studies of nutritional properties and antioxidant potential in green leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2(1), 7-13.
- Złotek, U., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Swieca, M., Nowak, R., & Martinez, E. (2019). Influence of drying temperature on phenolic acids composition and antioxidant activity of sprouts and leaves of white and red quinoa. *Journal of Chemistry*, 2019, 7125169.
- Gopalan, C., Rama, B., & Balasubramanian, S. (2007). Nutritive value of Indian foods. Hyderabad: National Institute of Nutrition (NIN), ICMR.
- Pasko, P., Sajewicz, M., Gorinstein, S., & Zachwieja, Z. (2008). Analysis of selected phenolic acids and flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Seeds and Sprouts by HPLC. *Acta Chromatographica* 20, 661-672.
- Kataria, A., Sharma, S., & Khatkar, S. (2021). Antioxidative, structural and thermal characterisation of simulated fermented matrix of quinoa, chia and teff with caseinate. *Institute of Food Science & Technology*.
- Brady, K., Ho, C., Rosen, R., Sang, S., & Karwe, M. (2007). Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry*, 100(3), 1209-1216.