

La quinua, sus compuestos bioactivos, propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.

Luz Stella Guevara Peña y,
Natalia Dayhana Quintero Velásquez

Director
M.Sc. Vicente Ortiz Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD,
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería- ECBTI,
Ingeniería en Alimentos

2021

Dedicatoria

Dios por favor, delante de nosotras, guiandonos y dandonos la sabiduria necesaria.

“No se hallo en todas estas Indias trigo ni otra especie de grano de los que en Europa nacen en espigas; solo tres generos de semillas dio el creador a los naturales de esta tierra que les sirve de pan, que son: el maiz, la quinua y el chiau”

Cobo, 1980: 340

Agradecimientos

Primeramente, damos gracias a Dios por permitirnos tener la grata experiencia de elaborar esta investigación de la mano de un excelente profesor y de la universidad que nos permite convertirnos en profesionales en este ámbito que tanto nos apasiona. Gracias a cada uno de los profesores que hicieron parte de nuestros procesos y a nuestras familias que siempre nos brindaron apoyo incondicional para la realización de esta tesis.

Agradezco a mi familia, a mis hijas y a mi esposo, el apoyo incondicional que me han brindado para poder desarrollar esta investigación la cual no ha sido fácil por los altibajos que hemos tenido con la situación actual, pero que, con su compañía, amor y paciencia, hemos logrado salir adelante.

Resumen

La quinua es un pseudocereal muy apetezido por sus compuestos bioactivos y propiedades funcionales, producido mayormente en Latinoamérica y Europa, conocido a nivel mundial como el “grano de oro”. Su consumo ha aumentado de forma importante, debido a su gran valor nutricional y beneficios innegables para la salud humana.

El objetivo de esta monografía es realizar una investigación de forma exhaustiva sobre este pseudocereal, haciendo un análisis detallado de sus compuestos bioactivos y sus propiedades funcionales. Esta investigación se realizó a través de los canales de investigación de la plataforma de la UNAD, como lo es la biblioteca, por medios de varios buscadores entre ellos: scopus, science direct, scielo etc

Se ha trabajado información objetiva, precisa y detallada de los temas y sub temas relacionados con la quinua como lo es su producción, proceso, valores nutricionales, conceptos, consumo, beneficios, evolución y efectos, productos y sub productos elaborados a partir de este pseudocereal; se profundizó en los compuestos bioactivos y propiedades funcionales, donde se realizó un análisis crítico de estos temas; revisión de nuevas tendencias en innovaciones en la industria, mostrando nuevos diseños y desarrollo de productos, técnicas y procesos biotecnológicos.

Se logró como resultado, un documento con información veraz, el cual podrá proporcionar conocimientos actualizados sobre la quinua, que servirá como información de inicio para el desarrollo de nuevos productos, para futuras investigaciones y proyectos relacionadas con este pseudocereal.

Tabla de contenido

Lista de tablas	8
Indice de figuras y gráficas	10
Introducción	12
Generalidades de la quinua	14
Historia de la quinua	14
Producción actual.....	15
Cultivo y comercialización	16
<i>Producción en Colombia</i>	22
Exportaciones.....	23
Demanda y estadísticas de consumo mundial de la quinua	24
Composición física.....	27
Composición química y valor nutricional.....	33
<i>Proteínas – Aminoácidos</i>	34
<i>Aminoácidos</i>	46
<i>Calidad de la proteína de la quinua</i>	51
<i>Biodisponibilidad de las proteínas de la quinua</i>	55
<i>Lípidos</i>	59
<i>Carbohidratos</i>	62
<i>Minerales</i>	64
<i>Vitaminas</i>	65
Análisis del consumo de la quinua como fuente de proteína en humanos y sus beneficios	67
Factores antinutricionales de la quinua.....	68
<i>Ácido Fitico</i>	68
<i>Saponinas</i>	71
<i>Taninos</i>	75
<i>Inhibidores de proteasa</i>	78

La quinua y sus compuestos bioactivos	81
Definición de compuestos bioactivos	81
<i>Los compuestos bioactivos en la quinua y sus implicaciones</i>	83
<i>Los polifenoles y la quinua</i>	88
Contenido de compuestos fenólicos en la quinua	93
<i>Flavonoides</i>	97
<i>Ácidos fenólicos</i>	102
<i>Taninos</i>	107
<i>Saponinas</i>	113
<i>Betalainas</i>	117
<i>Capacidad antioxidante</i>	122
<i>Medición de antioxidantes</i>	124
La quinua y su capacidad antioxidante	126
Actividad o función biológica de los compuestos bioactivos de la quinua	128
La quinua sus propiedades funcionales.....	134
Concepto y su evolución relacionados con propiedades funcionales	134
Fundamentación científica sobre la caracterización de los efectos funcionales	136
La quinua y los efectos de su funcionalidad en el organismo humano.....	141
Alimento sin gluten.....	150
Propiedades funcionales y tecnológicas de la quinua	154
<i>Capacidad de formación de agentes espumantes</i>	155
<i>Capacidad de absorción de agua y aceite</i>	158
<i>Capacidad de generar emulsiones</i>	159
Importancia de las propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.....	163
Tendencias en los procesos de transformación de la quinua	170
<i>Proceso de hidrolizado proteico en la quinua</i>	171
<i>Proceso de aislado de proteína de quinua</i>	173

<i>Proceso de concentrado de proteína de quinua</i>	175
Conclusiones	184
Recomendaciones	186
Referencias bibliograficas.....	187
Anexos	226
Resumen analitico especializado RAE	226

Lista de tablas

Tabla No. 1 Quinoa cosechada en los principales países productores del mundo.....	17
Tabla No. 2 Producción de Quinoa en Colombia	23
Tabla No. 3 Fracciones proteica de la Quinoa de acuerdo a diferentes autores	41
Tabla No. 4 Contenido nutricional del grano de quinua, trigo y arroz	43
Tabla No. 5 Contenido de proteína en la quinua de acuerdo a diversos autores	44
Tabla No. 6 Valor nutritivo y agroindustrial de variedades y líneas de quinua.....	45
Tabla No. 7 Aminoácidos. Beneficios y Trastornos por deficiencia.	47
Tabla No. 8 Promedios de contenido de proteína y lisina de la quinua y cereales	50
Tabla No. 9 Perfil de aminoácidos esenciales según la FAO, comparado con la quinua y otros cereales.....	52
Tabla No. 10 Relación de algunos métodos comunes de evaluación de proteínas.....	54
Tabla No. 11 Composición de ácidos grasos esenciales en semillas de Quinoa	61
Tabla No. 12 Contenido de minerales de la Quinoa	65
Tabla No. 13 Contenido de vitaminas de la Quinoa	66
Tabla No. 14 Contenido de saponinas de acuerdo a la variedad y a su origen	73
Tabla No. 15 Principales fuentes animales y vegetales de inhibidores de proteasas.....	79
Tabla No. 16 Evidencia clínica de los beneficios para la salud de los productos derivados de la quinua.....	86
Tabla No. 17 <i>Contenido de compuestos fenólicos en la quinua, de acuerdo a cada autor.....</i>	96
Tabla No. 18 Contenido de flavonoides en la quinua.....	101
Tabla No. 19 <i>Ácidos fenólicos -libres- de la fracción fenólica de la quinua blanca, roja y negra</i>	105
Tabla No. 20 <i>Ácidos fenólicos -ligados- de la fracción fenólica de la quinua blanca, roja y negra</i>	106
Tabla No. 21 Contenido de taninos condensados en algunos alimentos (USDA, 2004).....	108
Tabla No. 22 Alimentos con alto contenidos de taninos hidrolizables (TH).....	110
Tabla No. 23 Contenido de taninos condensados, en cinco especies, representativas de las tres categorías principales de cultivos de granos: cereales (trigo y cebada), leguminosas (garbanzos y lentejas), pseudocereales (quinua).	112
Tabla No. 24 Polifenoles en la semilla de quinua.....	120

Tabla No. 25 <i>Ensayos de capacidad antioxidante in vitro</i>	125
Tabla No. 26 Principales actividades biológicas de la quinua con relación a sus compuestos fenólicos.....	132
Tabla No. 27 Categorías de alimentos funcionales.....	134
Tabla No. 28 <i>Ingredientes de origen natural funcionales</i>	139
Tabla No. 29 La Quinua beneficios para la salud, demostrados en modelos animales y humanos	145
Tabla No. 30 Productos elaborados sin gluten, desarrollos a partir del año 2010.....	152
Tabla No. 31 Propiedades funcionales de los aislados de quinua.....	162
Tabla No. 32 Propiedades funcionales de las proteínas utilizadas en alimentos	169
Tabla No. 33 Desarrollos actuales en los procesos de transformación de la quinua.	178

Índice de figuras y gráficas

Figura No. 1 Microscopía óptica de cortes transversales de semilla de quinua A, B,C,D	29
Figura No. 2 Secciones teñidas con tricrómico de Azan, E,F,G,H.....	29
Figura No. 3 Análisis ESEM de secciones de semilla de Quinua.	31
Figura No. 4 Interacciones de ácido fitico con los minerales y proteínas	69
Figura No. 5 <i>Estructura general de la saponina. Se ubica el enlace glucosídico entre la aglicona y un glucósido</i>	72
Figura No. 6 Estructura Química de los taninos condensados e hidrolizados.....	76
Figura No. 7 Clasificación de los compuestos fenólicos.	89
Figura No. 8 <i>Estructura química del fenol</i>	90
Figura No. 9 Estructura principal de los flavonoides (b) Flavonas (c) Flavonoles (d) Flavanonas (e) Flavanoles (f) Isoflavonas.	98
Figura No. 10 Ácidos hidroxibenzoicos	103
Figura No. 11 Ácidos hidroxicinámicos	103
Figura No. 12 <i>Estructura química de los principales ácidos fenólicos</i>	104
Figura No. 13 Estructura química de taninos condensados	108
Figura No. 14 Estructura química de taninos hidrolizables –estructuras variadas- (unidades de ácidos gálico o elágico unidos a carbohidratos.....	109
Figura No. 15 <i>Estructura de saponinas: (a) un esteroide y (b) un triterpenoide</i>	114
Figura No. 16 Estructura química de varias de las agliconas: ácido oleanólico (OA), hederagenina (HD), y el ácido fitocagénico (PA), el ácido serjanico (SA).....	114
Figura No. 17 <i>Estructura química de la betalaína, betanina, isobetanina</i>	118
Figura No. 18 Diagrama de flujo del proceso para la obtención de hidrolizado de proteína de quinua.....	172
Figura No. 19 Diagrama de flujo para obtención del aislado de proteína de quinua.....	174
Figura No. 20 Diagrama de flujo para la obtención de concentrado de proteína de quinua.....	176
Gráfica No. 1 Superficie destinada al cultivo de quínoa en los principales productores mundiales en el periodo 2009-2015	18
Gráfica No. 2 Cantidades de producción / rendimiento de quinua en el mundo + (total) 2010-2018.....	19

Gráfica No. 3 Cantidades de producción/rendimiento de Avena en Mundo + (Total) 2010 – 018	20
Gráfica No. 4 Cantidades de producción / rendimiento de quinua en el mundo + (total) 2017- 2018.....	21
Gráfica No. 5 Producción de Quinua: top 10 productores . Promedio 2017-2018.....	22
Gráfica No. 6 Importadores de Quinua 2016 en el mundo.....	24
Gráfica No. 7 Evolución del precio internacional de la Quinua (en miles de dólares por tonelada) 2000-2018	26
Gráfica No. 8 Valor de la producción Agrícola entre 2014 y 2018.....	26
Gráfica No. 9 Contenido total de saponina de 7 variedades de quinua coloreada.....	117

Introducción

La quinua, pseudocereal ancestral andino, reconocida actualmente por su gran valor nutricional, sus compuestos bioactivos y propiedades funcionales, así lo da a conocer Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) y agrega, su alto contenido de proteínas, combinación excepcional de aminoácidos, tales como lisina, metionina, cisteína, además del contenido de carbohidratos, lípidos vitaminas y minerales permiten considerar la quinua como excelente opción para garantizar una alimentación natural y saludable; así mismo, es considerada un alimento libre de gluten, apta para personas celiacas.

Vega-Galvez *et al.* (2018) hace referencia a los compuestos fenólicos de este pseudocereal, como flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y betalaínas, los cuales se han estudiado con mucho interés, de manera especial por su considerable contenido y acción preventiva con relación a enfermedades degenerativas, como la enfermedad coronaria, la aterosclerosis, el cáncer y la diabetes, gracias a su evidente acción antioxidante.

Alasalvar *et al.* (2021) afirma que, factores anti nutricionales como las saponinas, el ácido fitico, los inhibidores de proteasa, pueden limitar las propiedades de calidad y digestibilidad de esta semilla; aunque estos mismos factores pueden otorgarle múltiples beneficios como efectos antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos entre otros.

Las proteínas de la quinua han demostrado tener propiedades funcionales eficientes y estables: solubilidad, gelificación, capacidad de emulsificación, capacidad de formación de espuma, capacidad de unión al agua, al aceite, así lo da a conocer Ghumman *et al.* (2021) y explica además que, estas, son fundamentales en el procesamiento de alimentos, en la formulación de productos; sus procesos de transformación comprenden una variedad de etapas, que se realizan para la obtención de productos con más y mejores atributos de calidad, los cuales

son utilizados en la industria alimentaria. Este es el caso de los hidrolizados, aislados, concentrados.

La presente revisión bibliográfica se propone contribuir a la producción académica con un artículo que contenga la información científica adecuada, necesaria, actualizada y suficiente sobre la quinua, sus compuestos bioactivos y sus propiedades funcionales.

Su desarrollo tuvo como ejes centrales la importancia de los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales en la quinua, determinando sus efectos en el organismo humano. Además de caracterizar las principales tendencias y desarrollos de productos en los procesos de transformación de la quinua.

Este trabajo, aborda inicialmente la historia de la quinua; se exponen datos y estadísticas sobre la producción nacional e internacional; seguidamente se examina la composición física, química y el valor nutricional, haciendo énfasis en las proteínas; posteriormente, se caracterizan sus compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, los efectos y su importancia para la salud; finaliza esta revisión, analizando la actividad funcional de la quinua, exponiendo varios de los procesos de transformación, señalando los principales desarrollos e innovaciones.

Generalidades de la quinua

Historia de la quinua

Mujica *et al.* (2001) se refieren a la historia del cultivo de la Quinua y dicen que se remonta de acuerdo con varios autores a más de 7000 años atrás, haciendo parte de la dieta alimenticia y por tanto de la historia de varios de los países que recorre la Cordillera de los Andes, como son Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Daza *et al.* (2015) hacen alusión a la llegada de los españoles al territorio americano, y refieren que el desarrollo tecnológico de la quinua era adecuado al igual que el suministro, realizado dentro y fuera de las tierras Incas. Además, agregan que Pedro de Valdivia fue el primero en dar cuenta de la existencia de los cultivos de la quinua y se refería al consumo por parte de los indígenas, al igual que otras plantas, las cuales hacían parte de su alimentación. De acuerdo a Mujica *et al.* (2001) las culturas prehispánicas tenían sus cultivos y empleaban la quinua, como un alimento propio de su dieta alimenticia y fue reemplazada por la cebada y el trigo, con la llegada de los españoles.

Por otro lado, Daza *et al.* (2015) hacen alusión en su documento a los escritos del Inca Garcilaso de la Vega con relación a la quinua y su importancia al ser uno de los granos más cultivados en el mundo y su similitud con el mijo y el arroz pequeño; en sus relatos se narra sobre el fracaso del envío a Europa de las semillas de quinua al llegar muertas a su destino final.

Tapia *et al.* (1979) aseguran que tanto los chibchas como otras tribus que habitaron la meseta cundiboyacense cultivaron la quinua. Hay posibilidades de que habitantes de la antigua zona de San Agustín, Huila, llevaran el cultivo hacia el sur de Colombia y posteriormente incluso hasta el Ecuador. En el Perú, hay varios relatos relacionados con la llegada de los españoles y la gran cantidad de quinua encontrada en depósitos de alimentos o Colcas. De acuerdo a la historia, la tribu de los Huancas tuvo amplias extensiones de cultivos de quinua.

Tapia y sus colegas agregan, que en 1586 Mogollón cuenta del uso de la quinua en la provincia de los Collaguas –Bolivia. En 1558 se encontró siembras de quinua en territorio chileno por parte de Cortes Hoguea. Y así también para 1583 en tierras argentinas, Pedro Sotelo hace alusión a estos mismos cultivos en cercanías a Córdoba y en el Valle de Calchaquíes.

Bojanic (2011) narra en su informe episodios históricos que dan cuenta de la antigüedad del cultivo de la quinua. Hace alusión a Heisser y Nelson (1974) y sus hallazgos en territorios peruano y argentino que datan del inicio de la era del nacimiento de Cristo. Así también y de acuerdo a Cárdenas (1944) Bollaerd y Latham, encontraron semillas de quinua en tumbas indígenas de tierras chilenas. Del mismo modo Jacobsen, S. E. (2003) afirma que el cultivo de la quinua, data de unos 7000 años, siendo de los más antiguos en la región Andina.

Según Mujica *et al.* (2001) con relación al cultivo de la quinua y su difusión de los países del área andina, a países centroamericanos como México, Guatemala, precisan que esta, se ha efectuado a través de diversas acciones de la FAO, como también por medio del apoyo de los proyectos de investigación e intercambio de tecnología cooperativa. Los mismos autores agregan que con posterioridad su difusión ha llegado tanto a Estados Unidos y a Canadá. Al revisar el panorama actual, la quinua se conoce y se cultiva en Inglaterra, Alemania, Dinamarca, España, Italia, Francia, Rusia, Portugal, y Namibia.

Finalmente, Pereira *et al.* (2014) menciona que los bancos de semillas de quinua más grandes se encuentran en Bolivia, Perú, Argentina, Ecuador, Chile. Del mismo modo se encuentran bancos de semillas, distribuidas en más de 20 países de todo el mundo.

Producción actual

De acuerdo a Schiermeier (2019), es necesario referirse previamente al cambio climático y sus consecuencias particularmente en Suramérica, donde están localizados varios de los países

mayores productores del pseudocereal. El cambio climático como un factor que está afectando al mundo en la actualidad de manera considerable y que a futuro puede tener consecuencias impredecibles. En este contexto, se plantea la quinua como una alternativa clara y concreta para los cultivos a implementar en un futuro próximo, por su gran capacidad de adaptación a diferentes tipos de climas y suelos.

Con relación al tema, Schiermeier (2019) agrega que, tanto la ONU como el IPCC Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático han subrayado la necesidad de modificar la dieta de los seres humanos, elevando el consumo de vegetales y disminuyendo el consumo de carnes, esto como una manera de mitigar los efectos negativos de la agricultura animal y una forma de adaptación al cambio climático. Ruiz *et al.* (2014) exponen, como el cambio climático está generando consecuencias negativas en la producción de las variedades de cultivos. Agregan, además, como pronóstico el aumento de la salinización y esterilidad de los suelos a nivel mundial y en consecuencia, la necesidad de determinar nuevos genotipos y especies resistentes a las condiciones adversas para el futuro de la agricultura.

Cultivo y comercialización

De acuerdo a las estadísticas de la Food and agriculture organization of the united nations (FAO, 2017), en los últimos 10 años se ha observado una tendencia creciente en la producción de quinua en el mundo, su producción a nivel mundial pasó de 79.636 toneladas en el 2010 a 148.720 toneladas en el 2016. Torralbo (2019) expresa en su investigación que, en los últimos años, Perú, Bolivia, y Ecuador, han aumentado progresivamente la producción de quinua, de manera que prácticamente el 80 % de la producción en el mundo está concentrada en estos tres países.

El 90 % de los cultivos se da por parte de pequeños agricultores. De los 70 mil productores cada uno cultiva un promedio de una hectárea, esto en Bolivia. En el 2016 se contabilizan 96 países productores de quinua, cuya producción al año se totalizo en 195 mil toneladas, de las cuales 70 mil correspondieron a Perú, 60 mil a Bolivia y 10 mil a Ecuador. Así lo muestra la Tabla No.1.

Tabla No. 1

Quinoa cosechada en los principales países productores del mundo

País	Año 2015		Año 2016	
	Cantidad en Tn	Proporción	Cantidad en Tn	Proporción
Perú	107.380	45,90%	70.000	36%
Bolivia	88.000	37,60%	60.000	31%
Ecuador	15.000	6,40%	10.000	5%
Europa	13.000	5,60%	20.000	10%
India/China	4.200	1,80%	15.000	8%
Canadá	3.100	1,30%	10.000	5%
EE. UU	2.320	1,00%	5.000	3%
Australia	1.000	0,40%	5.000	3%
Total	234.000	100%	195.000	100%

Nota: Díaz S., Jorge (ed.) (2019).

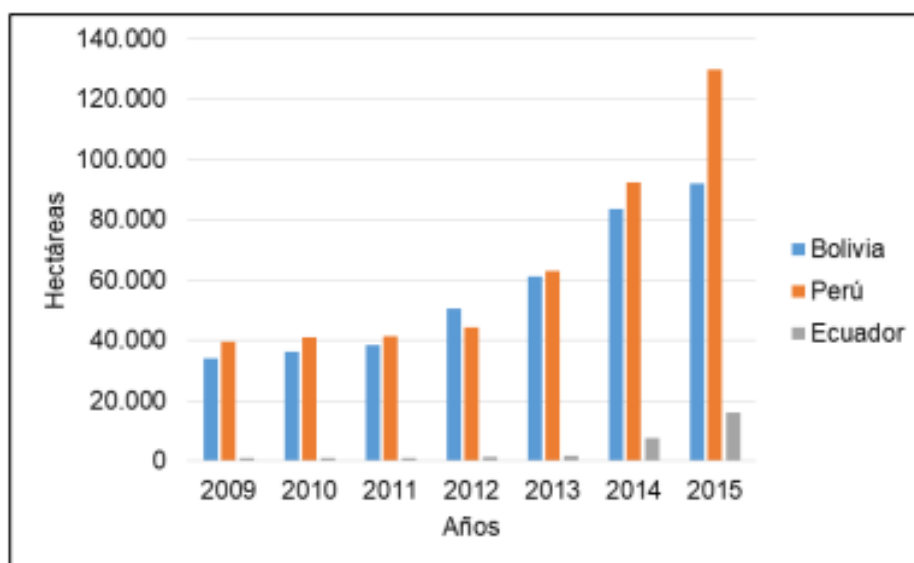
Tn: Tonelada

Así también, Austral solutions (2017) expone que el auge que ha tomado la quinua por sus propiedades nutricionales ha servido de motivación para que varios países aumenten sus cultivos. Están como ejemplo: Chile, Argentina, Brasil y Colombia, como también países de América del Norte y Europa.

En la Gráfica No. 1 se observa de manera detallada la superficie que destinan Bolivia, Perú, y Ecuador para el cultivo de la quinua.

Gráfica No. 1

Superficie destinada al cultivo de quínoa en los principales productores mundiales en el periodo 2009-2015

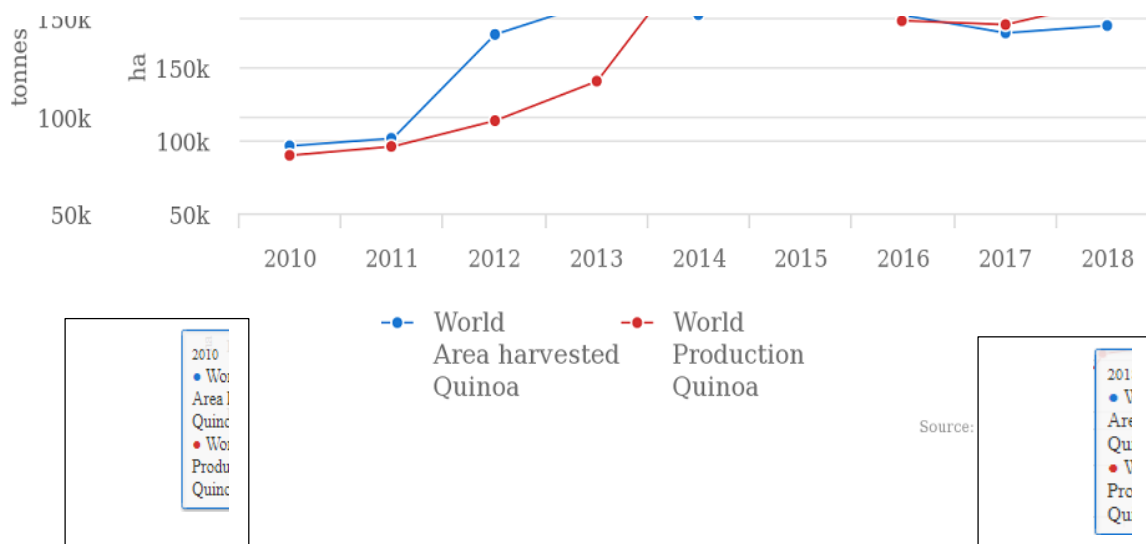


Nota: Fuente Austral Solutions. (2017)

Es importante, además, incluir datos que aporta la FAO relacionados con las cantidades de producción y el rendimiento de quinua en el mundo. Al analizar la relación de la producción de la quinua del 2010 al 2018, se puede concluir, que en 8 años hay un aumento de la producción de la quinua del 99.5% como se observa en la Gráfica No. 2.

Gráfica No. 2

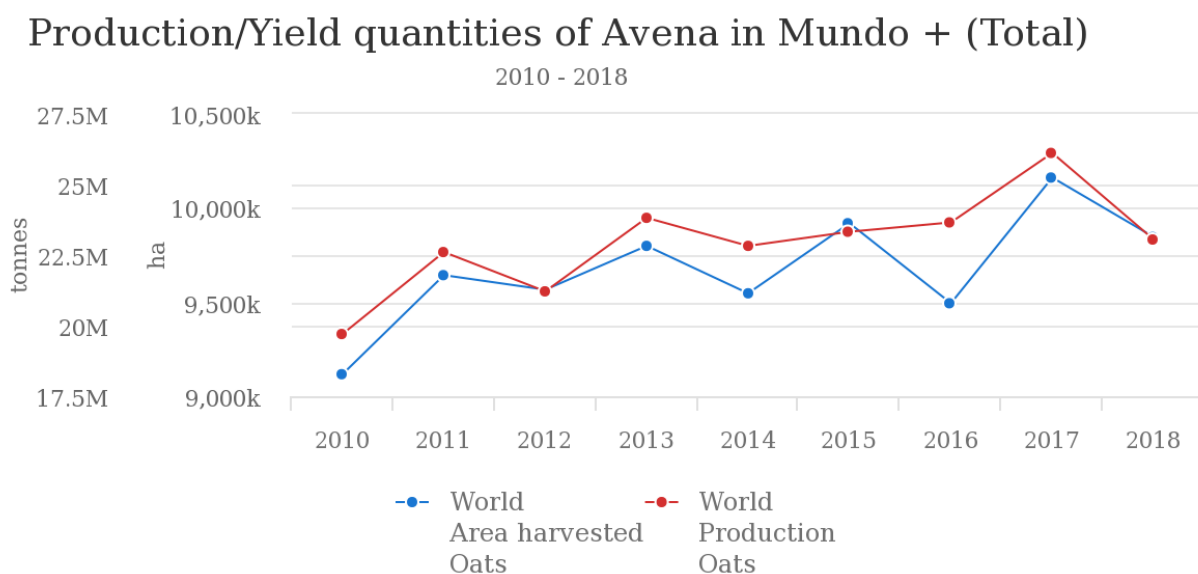
Cantidades de producción / rendimiento de quinua en el mundo + (total) 2010-2018



En la Gráfica No. 3 se incluyen los datos de la producción de la avena a nivel mundial del 2010 al 2018, para establecer una comparación con la producción de la quinua y valorar así, la dimensión de su aumento en la producción mundial. En cuanto a la avena y su crecimiento con relación a la producción mundial 2010 - 2018 corresponde al 14.52 %. Al analizar las cifras, se puede concluir que el crecimiento de la quinua ha sido prácticamente del 100 % siendo un porcentaje bastante significativo en comparación a la avena que fue del 14.52%

Gráfica No. 3

Cantidades de producción/rendimiento de Avena en Mundo + (Total) 2010 – 018

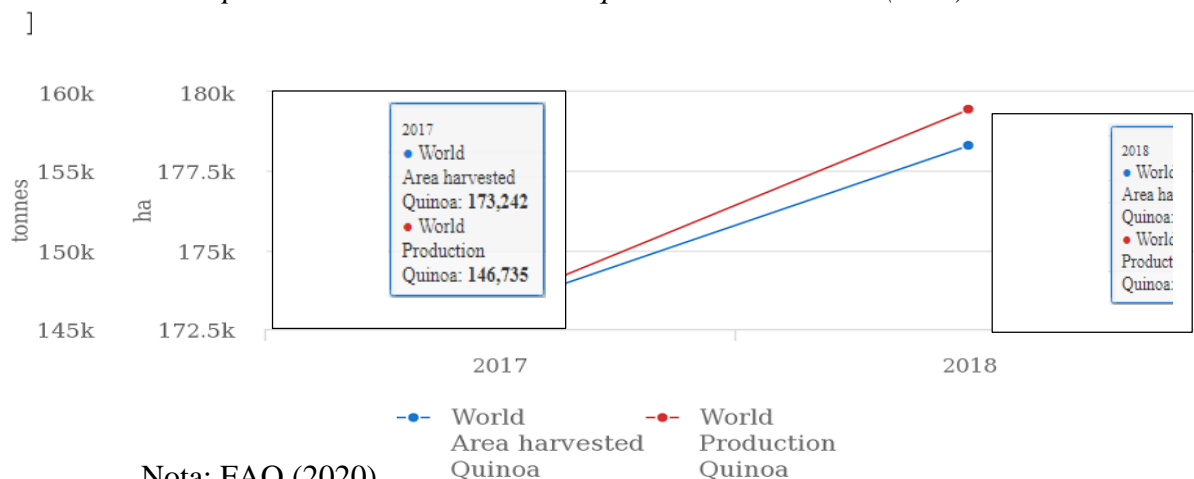


Nota: FAO (2020)

En la Grafica No. 4 se encuentra la información sobre la producción de la quinua correspondiente a los años 2017-2018, a nivel mundial, siendo la tendencia el crecimiento constante.

Gráfica No. 4

Cantidades de producción / rendimiento de quinua en el mundo + (total) 2017-2018.

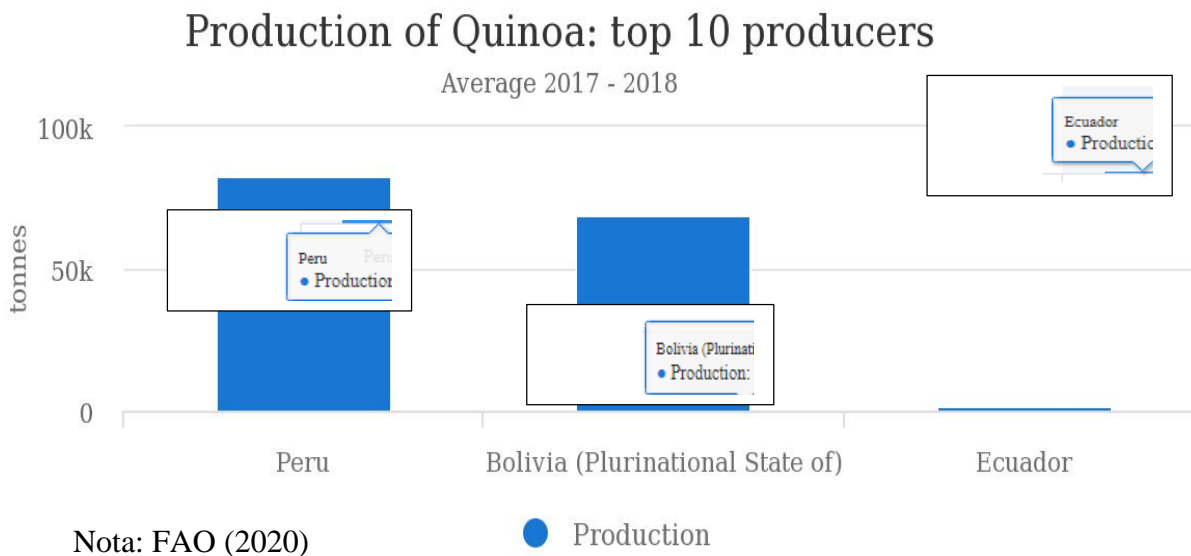


A continuación, en la Gráfica No. 5 se encuentran los datos sobre la producción promedio de quinua en tres de los países que presentan la mayor producción de quinua, entre los años 2017 – 2018

En las estadísticas presentadas en la Gráfica No. 5, para el promedio comprendido entre los años 2017-2018, se constata el liderazgo de Perú como el principal productor de quinua en el mundo, con 82,334 toneladas, seguido por Bolivia con 68,777.5 toneladas y Ecuador con 1, 716 toneladas.

Gráfica No. 5

Producción de Quinoa: top 10 productores. Promedio 2017-2018



Producción en Colombia

En cuanto a la producción de quinoa en Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en su publicación del 2018 afirma: las áreas de producción han tenido un crecimiento de un 150%, en solo 4 años. De 996 hectáreas en 2014 han pasado a 2.538 hectáreas en 2017. Se calcula que el área sembrada por año ha sido de 2.600 hectáreas, y un promedio en cuanto al rendimiento de 1,7 tonelada por hectárea, con una producción de 2.800 toneladas en todo el territorio colombiano. La meta para el año 2020, es alcanzar 10.000 hectáreas cultivadas.

Cauca cuenta con unas 1.507 hectáreas cultivadas, su producción en promedio es de 1.413 toneladas. Nariño suma 681 hectáreas de cultivos y una producción de 1.200 toneladas. En cuanto a Boyacá y Cundinamarca, sus siembras abarcan 250 hectáreas y 375 toneladas y 100 hectáreas y 100 toneladas, respectivamente, asegura el Ministerio de Agricultura Colombiano. Entre 2016 y 2017, la quinoa exportó cerca de USD un millón de dólares equivalentes a 474 toneladas. En la tabla No. 2 se muestra la producción de quinoa en Colombia.

Tabla No. 2*Producción de Quinoa en Colombia*

Zona de producción/ Departamento	Área Sembrada en ha	Rendimiento Departamental en Tn/ha	Producción en Tn
Cauca	1507	1,8	1.413
Boyacá	250	1,5	375
Nariño	681	2,0	1.200
Cundinamarca	100	1,0	100

Nota: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018)

Tn/ha: Toneladas por hectareas

Tn: Toneladas

ha: hectareas

Exportaciones

De acuerdo a la FAO - ALADI, (2014) en cuanto a las exportaciones mundiales, Bolivia, Ecuador y Perú, figuran con el 82,4%, Estados Unidos con el 9,8% y la Unión Europea con el 7,5%, aclarando que, en el caso de estos dos últimos, las ventas equivalen a reexportaciones. Al analizar las exportaciones conjuntas de Bolivia, Ecuador y Perú, de veinte años para acá, se nota que han crecido de manera constante. En cifras, pasaron de 700.000 dólares en el año 1992 a 111.000.000 dólares en el año 2012, Se afirma sobre las ventas, que entre el año 2002 y el año 2012 se multiplicaron por 39. FAO - ALADI, (2014) añade que para el año 2015, Perú registra exportaciones a 70 países siendo el país con mayor cantidad de cubrimiento de mercados en lo

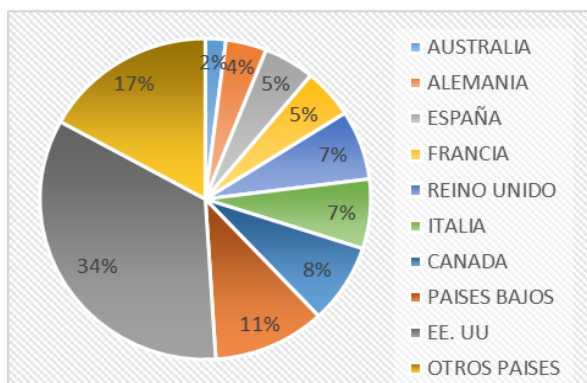
que a las ventas de quinua se refiere. Le siguen Bolivia y Ecuador con cobertura de 43 y 11 mercados, respectivamente.

Demanda y estadísticas de consumo mundial de la quinua

Austral solutions (2017) afirma, de acuerdo a los análisis se calcula que la demanda del pseudocereal a nivel internacional pueda llegar a las 11.000 toneladas anuales, con un crecimiento del 12% anual. El estudio del gobierno chileno, añade que los principales países importadores son Estados Unidos, con una demanda del 34%, Países Bajos con 11%, y Canadá con 8%, como se aprecia en la Gráfica No. 6. Con relación a Latinoamérica, los principales importadores son Brasil y Argentina con 578 y 249 toneladas respectivamente.

Gráfica No. 6

Importadores de Quinua 2016 en el mundo



Nota: superintendencia nacional de aduana y de administración tributaria, SUNAT Perú

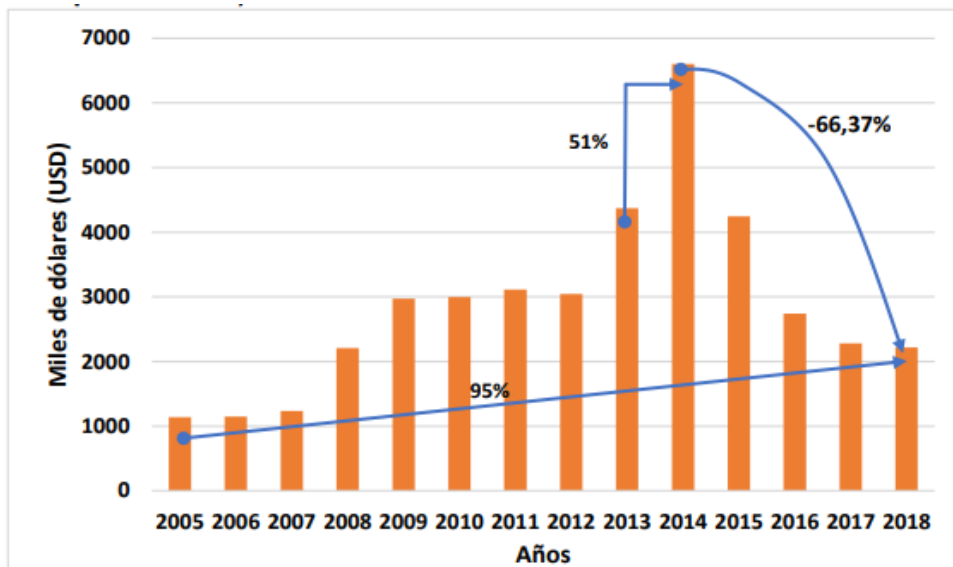
Errecart (2019) plantea la importancia del comercio de la quinua a nivel internacional, y sobre la demanda alcanzada en el año 2016 de 257 millones de dólares. Agrega la misma autora en cuanto a la producción mundial de la quinua que entre 1998-2016 se produjo un crecimiento del 200%. Con respecto a la demanda mundial, esta se concentra en EEUU (53%), Canadá (15%) y Francia (8%) explicando así, el 76% del total de las importaciones desde el 2008 al 2012.

De acuerdo a la misma autora, finalizando el 2018 Bolivia ocupa un segundo lugar como productor mundial a raíz de dificultades climáticas y de tecnificación. Perú se logra imponer como primer productor al contar con buenas tecnologías, garantizando buen rendimiento en la producción y exportación, ofertando precios excelentes.

Agrega Errecart (2019), entre los años 2013 y 2014, debido a la declaratoria del año internacional de la quinua se generó un impacto positivo en los precios internacionales, alcanzando un crecimiento del 51%. Para el periodo del 2014 al 2018 se produjo una caída del 66.37% afectando así los ingresos en los mercados exportadores al generarse una reducción considerable, afectándose así mismo los mercados a granel al provocarse menores beneficios al interior de la cadena. Estos datos se pueden detallar en la Gráfica No. 7. De acuerdo a los datos del -Instituto Boliviano de Comercio Exterior- (IBCE, 2018), citado por Errecart (2019) la tonelada pasó de 6.602 (USD/Tn) en 2014 a 2.220 (USD/Tn) en 2018.

Gráfica No. 7

Evolución del precio internacional de la Quinoa (en miles de dólares por tonelada) 2000-2018

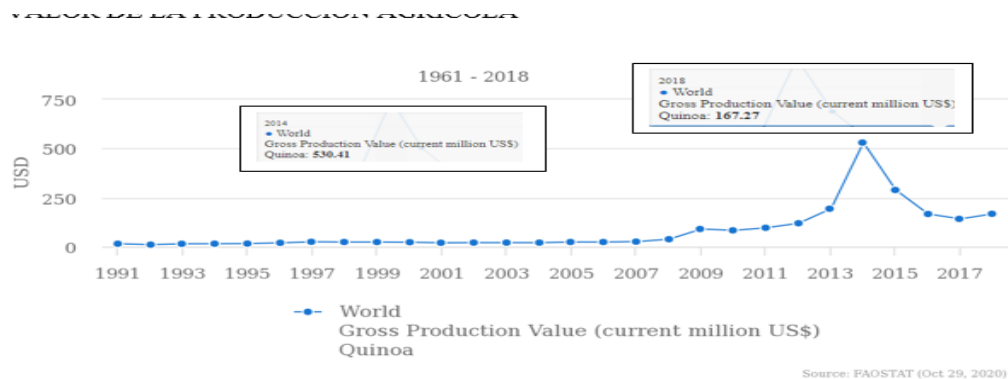


Nota: Errecart (2019)

En la Gráfica No. 8 muestra el valor bruto de producción de la quinoa (valor real, luego de su siembra y su cosecha, dado en millones de dólares estadounidenses actuales) Se toma de referencia los años 2014 (530.41) al 2018 (167.27)

Gráfica No. 8

Valor de la producción Agrícola entre 2014 y 2018



Fuente: FAO (2020)

Con respecto a índices comerciales la FAO hasta la fecha no reporta información

Composición física

Vilcacundo y Hernández (2017) se refieren a las características físicas en los alimentos y su gran importancia. En lo que se refiere a su forma, tamaño, peso, densidad y propiedades organolépticas, estas características van a posibilitar la determinación de la calidad en cuanto a la quinua y otros granos. Así mismo, dicen Vilcacundo y Hernández (2017), éstas se tendrán en cuenta para garantizar el cumplimiento de las normas en proyección hacia su comercialización y aceptación en el consumo.

Ninfali *et al.* (2020) afirman en su análisis: los pseudocereales pertenecen a las plantas dicotiledóneas. En los cotiledones se produce el almacenamiento de proteínas, almidón y lípidos, para ser utilizados por la planta en su fase inicial del crecimiento. Dice Ninfali *et al.* (2020) en cuanto a la quinua, al desarrollarse la semilla, el endospermo se consume; por consiguiente, se produce el almacenamiento de sus nutrientes tanto en los cotiledones y en el perispermo. Estos mismos autores, realizaron el estudio de la morfología de la semilla de la quinua, mediante microscopía óptica (LM) y microscopía electrónica de barrido ambiental junto con espectroscopia de dispersión de energía (ESEM-EDS), con el objetivo de relacionar su morfología y la localización de nutrientes.

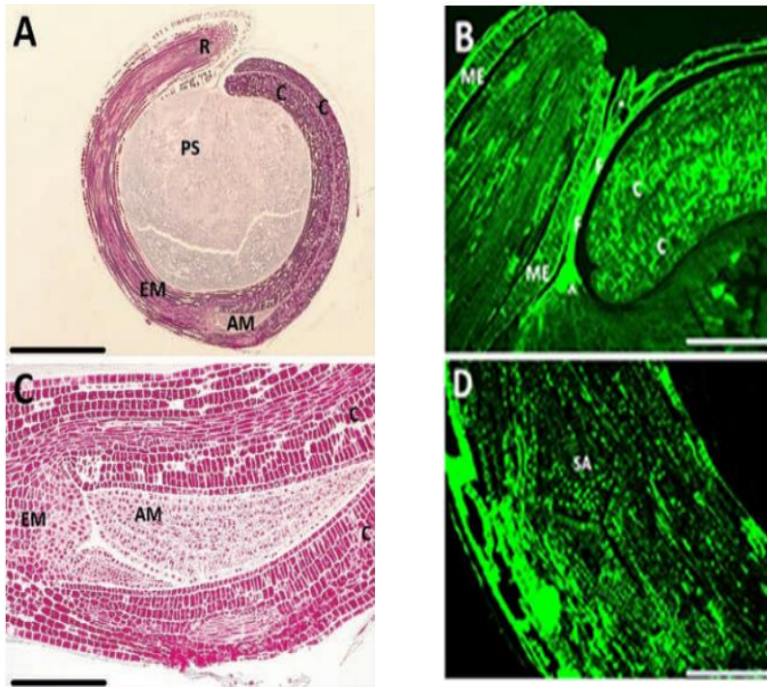
La Figura No. 1 muestra la tinción con azan y la fluorescencia de secciones de una semilla de quinua. En la Figura 1A se muestra el embrión en forma elipsoidal, los cotiledones (C), el meristemo apical (AM) (*MERISTEMAS: células en división que producen el crecimiento y desarrollo de la planta.*) y la raíz(R). El embrión rodea el perispermo (PS), que almacena almidón. La Figura 1B muestra la fluorescencia de los cotiledones (C), el endospermo micropilar (ME) y la punta de la raíz (R), en su punto de convergencia. La Figura 1C indica la tinción de

Azan de los cotiledones, el meristemo apical (AM) del brote, con mayor aumento. El meristemo (AM) evidencia el aumento de células que constituyen el embrión como tal. En la Figura 1D se observa el ápice del brote (SA), con manchas dispersas de células. La Figura 2E muestra la tinción de Azan de la raíz, revelando la cubierta de la semilla, el endospermo micropilar (ME) y la organización celular de la punta de la raíz. La Figura 2F muestra la punta de la raíz y el endospermo micropilar (ME); Figura 2G muestra el pericarpio (PE) y la cubierta de la semilla con la testa (TE), tegmen (T) en contacto con el endospermo periférico después de la tinción con Azan. En la capa externa, el pericarpio (PE) está constituido por células grandes, mientras que, en la capa interna, el tegmen (T) une el endospermo periférico a la cubierta de la semilla. En la esquina inferior derecha de la Figura 1G, el cotiledón (C), con su vaina protectora (P) también es visible. La Figura 2H muestra las mismas estructuras que la Figura 2G. Tanto el endospermo como el perispermo contienen almidón. Pero, mientras que el endospermo contiene proteínas el perispermo no contiene proteínas, así lo dan a conocer Ninfali *et al.* (2020)

A continuación, se muestra en la Figura No. 1 y 2 la microscopía óptica de cortes transversales de semilla de quinua.

Figura No. 1

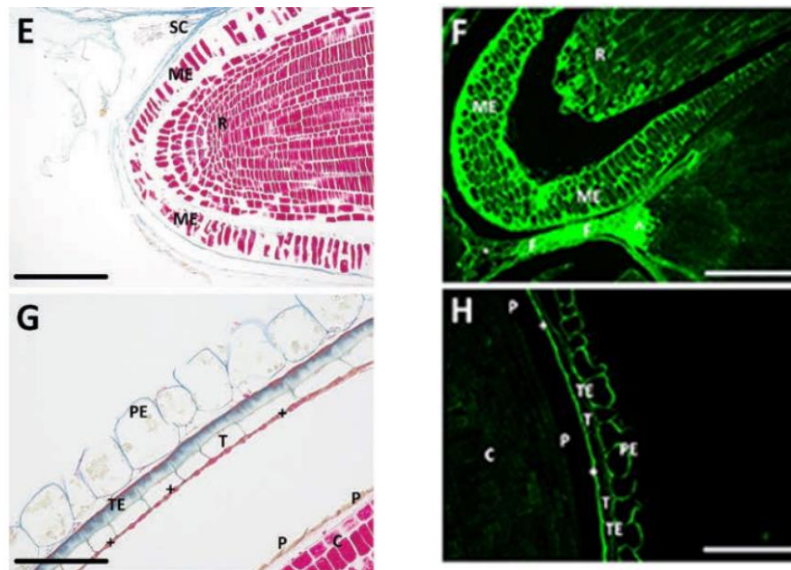
Microscopía óptica de cortes transversales de semilla de quinua A, B, C, D



Nota: Ninfali, P., Panato, A., Bortolotti, F., Valentini, L., & Gobbi, P. (2020).

Figura No. 2

Secciones teñidas con tricrómico de Azan, E,F,G,H



Nota: Ninfali, P., Panato, A., Bortolotti, F., Valentini, L., & Gobbi, P. (2020).

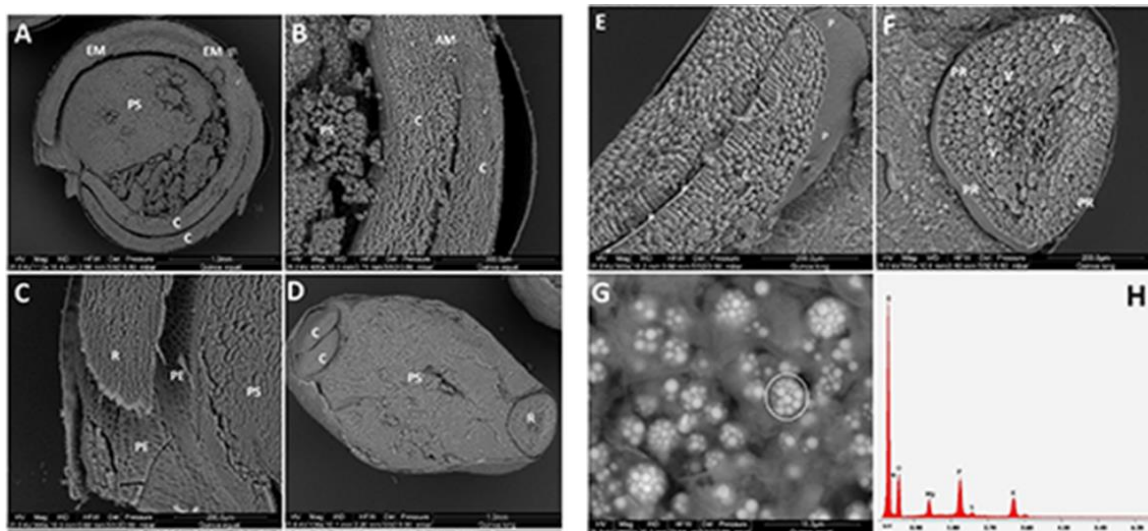
Secciones sin teñir observadas en microscopía de fluorescencia. ^, endospermo chalazal; +, endospermo periférico; °, semilla de chalazal; AM, meristemo apical; C, cotiledón; EM, eje del embrión; F, funículo; ME, endospermo micropilar; P, funda protectora; PE, pericarpio; PS, perispermo; R, radícula; SA, ápice del brote; SC, cubierta de semilla; T, tegmen; TE, testa.

Barras de escala: A) 200 μm ; B) 80 μm ; C) 55 μm ; D, F) 45 μm ; E) 43 μm ; G) 24 μm ; H) 50 μm (Ninfali *et al*, 2020:5)

En la Figura No.3 se ven imágenes ESEM-EDS de la semilla de quinua. En la Figura 3A, la sección longitudinal muestra el embrión circular, envolviendo el perispermo (PS) En la Figura 3B, los cotiledones (C) y el meristemo apical del brote(AM) se ven claramente, igualmente el pericarpio (PE). La Figura 3C evidencia el lado interno del pericarpio (PE) y punta de la raíz. (R), El pericarpio (PE) interno revela una estructura de capas, que divide la punta de la raíz y el perispermo (PS). En la Figura 3D se observa un corte transversal de la semilla de quinua. La figura 3E muestra una sección de los dos cotiledones (C), con la superficie lisa de las vainas protectoras (P). La Figura 3F muestra la sección de la raíz, con los haces vasculares del procambium, los cuales aparecen como una red de seis agujeros alrededor de cada célula. Las células de la raíz están llenas de globoides (Figura 3G), estos contienen proteínas y fitatos. (Figura 3H). Los picos del análisis elemental ESEM-EDS, permiten concluir que hay una concentración importante de P, Mg y K (Figura 3H). Los picos de C, O y N indican presencia de proteínas (Figura 3H). (Ninfali *et al*, 2020:6)

Figura No. 3

Análisis ESEM de secciones de semilla de Quinoa.



Nota: Ninfali, P., Panato, A., Bortolotti, F., Valentini, L., & Gobbi, P. (2020).

Figura No. 3 Análisis ESEM de secciones de semilla de quinua. A) Sección transversal; D) sección longitudinal; B, C, E, F) cotiledones y detalles de la raíz; G) gran aumento de los globoides dentro de las células de la capa cortical del tipo de la raíz; el área rodeada representa el campo para el análisis mostrado en H. H) Composición elemental de los globoides celulares. AM, meristemo apical; C, cotiledones; EM, eje del embrión; P, funda protectora; PE, pericarpio; PR, protoderma; PS, perispermo; R, radícula; V, haces vasculares.

En la quinua, el embrión con sus cotiledones de almacenamiento y radícula, rodean el perispermo, que contiene células de almidón, así lo indica Ninfali *et al.* (2020) y agrega: el meristemo apical del brote, se logra observar en el medio del embrión. En los cotiledones y la radícula, las células están llenas de globoides, que son vacuolas de almacenamiento llenas de proteínas. En el análisis ESEM-EDS se revela la presencia de fitatos en forma de sales de Mg y K.

Ninfali *et al.* (2020) afirma que, en la raíz, son visibles haces vasculares que proporciona agua, oxígeno y nutrientes a la semilla en germinación. En la quinua el tricrómico de Azan tiñó el endospermo periférico y micropilar de púrpura, como consecuencia de la presencia de ácidos nucleicos y proteínas de las células, las que se replican en el proceso de la germinación de la semilla. Los mismos autores agregan: la fluorescencia verde brillante, en las células del endospermo periférico y micropilar evidencia la presencia sustancial de compuestos fenólicos.

El ESEM, expresa Ninfali *et al.* (2020), reveló como los haces vasculares de la radícula, están organizados en una red hexagonal alrededor de cada célula para drenar el agua y los nutrientes a la raíz. Este tipo de sistema vascular, es una de las razones por las que los pseudocereales pueden germinar más rápido que los cereales.

Según Pereira *et al.* (2014) el epispermo o cubierta de la semilla, lo conforman 4 capas, la externa tiene una superficie rugosa, al friccionarla se puede desprender con facilidad, allí se localiza la saponina que produce el sabor amargo al grano y que dependiendo de los genotipos es su adhesión a la semilla. La segunda capa, es fina y lisa, la tercera es amarillenta opaca, fina, y la cuarta capa, es en cierta medida transparente, conformada por una agrupación de células, unida al perisperma, macizo por donde no puede ingresar el aire; el embrión, cuenta con sus dos cotiledones y la radícula, representa aproximadamente el 30 % del volumen como tal de la semilla. Agregan los mismos autores que, además en el embrión se localiza la proteína en una proporción significativa, envolviendo al perisperma –el cual contiene almidón- como un anillo. En su pericarpio es donde se almacena la saponina y está en una proporción, desde el 0.06% y 5.1%.

En cuanto a la descripción del fruto, Pereira *et al.* (2014) afirman que, la semilla es el fruto maduro conformado por el epispermo, embrión y perispermo. Los mismos autores explican

la relación de los colores del grano y su nivel de madurez y añaden: se pueden encontrar colores tan variados como blanco, crema, amarillo, anaranjado, rosado, rojo, púrpura, café claro, café oscuro, café verdoso, negro; en colecciones existentes en Bolivia, hay 66 colores definidos. Agregan, que el grano de la quinua, puede tener 4 formas: lenticular, cilíndrica, elipsoidal y cónica, y su diámetro puede variar desde 1,36 mm a 2,66 mm. En cuanto al tamaño puede haber variaciones:

tamaño 'extra grande' (mayor a 2,0 mm),

tamaño 'grandes' (mayor a 1,70 hasta 2,0),

tamaño 'medianos' (mayor a 1,40 hasta 1,69)

tamaño 'pequeños' (menor a 1,40)

Composición química y valor nutricional

Vilcacundo *et al.* (2018) expresa que determinar la composición química y el valor nutricional de la quinua es fundamental para así analizar su relación con la salud del ser humano, sus propiedades nutricionales y funcionales, como también la proyección y elaboración de nuevos productos; por ello se hace indispensable conocer en detalle del grano de la quinua y es necesario partir de examinar su semilla, detallar su morfología, su arquitectura, para precisar donde están ubicados originalmente sus nutrientes, cuál es su valor específico, y la calidad de sus proteínas, sus propiedades bioactivas, el porqué de la importancia de la fibra que contiene.

De acuerdo a Vilcacundo *et al.* (2018) en cuanto al valor nutricional, la quinua es un alimento con un porcentaje de proteína alto y una calidad excelente por el contenido de sus aminoácidos esenciales en comparación con otros granos. Agrega Vilcacundo *et al.* (2018), la semilla de quinua es considerada como un pseudocereal muy nutritivo por la cantidad y calidad de sus proteínas, además del contenido de ácidos grasos, su fibra dietética, las vitaminas y

minerales. Vilcacundo & Hernández (2017) afirman que en la quinua también se han encontrado una alta variedad de fitoquímicos como saponinas, fitoesteroles, fenólicos y péptidos bioactivos, que la colocan en ventaja con respecto a otros granos en relación a sus efectos en la salud del ser humano.

Proteínas – Aminoácidos

Las proteínas son macronutrientes esenciales en la dieta diaria de los seres humanos las cuales ejercen innumerables funciones en el cuerpo. González-Torres *et al.* (2007) afirman que las proteínas se pueden clasificar de acuerdo a su estructura, función, solubilidad y forma. Existe una clasificación general para estas, dividiéndose en: globulares y fibrosas; las primeras son de forma esférica, presentan en su estructura hélices α y hebras β , además de estructuras que no se repiten (asas y giros) las cuales les confieren funciones particulares. Estas son solubles en agua; algunos ejemplos son: la insulina, albúmina, globulinas plasmáticas y numerosas enzimas. Las fibrosas, de forma alargada, con fibras cilíndricas, son de baja solubilidad en agua, dentro de éstas se encuentran la queratina, miosina, colágeno y fibrina.

Filho *et al.* (2017) describe a las proteínas como un compuesto principal para la construcción de tejidos, anticuerpos, enzimas, suministro de energía y regulación de procesos metabólicos. Boye *et. al* (2012) se refiere a las proteínas y afirma que están formadas por aminoácidos unidos a través de enlaces peptídicos, los cuales son el principal suministro de nitrógeno en la ingesta de alimentos. Relacionan también los anteriores autores, que el poco consumo de proteínas en periodos de crecimiento y desarrollo puede afectar los órganos del cuerpo y el sistema inmunológico, por lo que afirman que la calidad proteica de los alimentos es un punto muy importante para la nutrición adecuada lo que garantiza una buena salud.

Aloisi (2016) afirma que Osborne (1924) clasificó las proteínas de almacenamiento por grupos en función de su extracción y solubilidad.

Este fraccionamiento, es frecuentemente empleado en el estudio de las proteínas vegetales, que se clasifican en 4 fracciones en función de su solubilidad:

a) Albúminas: solubles en agua

b) Globulinas: solubles en soluciones salinas acuosas

c) Prolaminas: solubles en alcohol

d) Glutelinas: solubles en ácidos o bases. Suele considerarse como la fracción proteica remanente de las anteriores extracciones.

De acuerdo con Cordero (2011) refiriéndose a las proteínas de almacenamiento en las plantas de forma general expresa que, las globulinas más importantes pertenecen a los grupos legumina (globulina con coeficiente de sedimentación 11S) y vicilina (globulina con coeficiente de sedimentación 7S). Ambos están codificados por una familia multigénica y a su vez, estas familias descienden de un ancestro común. En relación a globulina 11S o legumina afirman que es la principal proteína de almacenamiento de semillas de leguminosas; los monómeros contienen dos cadenas peptídicas diferentes (α y β), unidas por un puente disulfuro. Los autores especifican sobre la globulina 7S o vicilina que, por la falta de cisteína, los monómeros de vicilina son incapaces de formar puentes disulfuro. Hacen alusión a las prolaminas, las cuales se encuentran mayoritariamente en semillas de cereales. Algunas de estas subunidades contienen residuos de cisteína y están unidos por puentes disulfuro. Son ricas en prolina y glutamina y generalmente deficientes en aminoácidos esenciales como la lisina y el triptófano. Estos mismos autores, hacen alusión a las proteínas 2s, explicando que están presentes en las semillas de plantas dicotiledóneas. Son proteínas de almacenamiento ampliamente distribuidas; representan

un grupo heterogéneo de proteínas de las cuales la definición concreta es su coeficiente de sedimentación de cerca de 2 svedberg (S).

Se considera necesario relacionar y detallar los diferentes aspectos de revisiones e investigaciones realizados por varios autores, sobre las proteínas de almacenamiento en la quinua, ya que este tema es de mucha importancia para comprender aspectos claves de su valor nutricional, sus compuestos bioactivos, propiedades funcionales y proyecciones en la industria alimentaria.

En su investigación Abugoch (2009) se refiere al almacenamiento de las proteínas que realizan en su embrión tanto la quinua y otras plantas, para suministrar los nutrientes en su crecimiento y desarrollo, siendo estas, finalmente la fuente de las proteínas que los seres humanos consumen. Agrega también que de acuerdo a los trabajos realizados por varios investigadores se puede afirmar que las albúminas y globulinas representan las principales proteínas de almacenamiento en la quinua; Abugoch *et al.* 2008; Brinegar y Goundan, 1993; Brinegar y otros, 1996; Fairbanks y otros, 1989 caracterizaron electroforéticamente estas proteínas y demostraron que los polipéptidos de la quinua pueden clasificarse como albúmina o globulina. Brinegar y Goundan (1993) en su trabajo de investigación, realizaron el aislamiento y caracterización de una de las proteínas de almacenamiento de la quinua, una globulina del tipo 11 S, a la cual se ha llamado la chenopodina.

Abugoch (2009) citando a Brinegar y Goundan (1993) se refiere a la globulina 11S, como una proteína la cual consiste en seis pares de subunidades, cada una con un polipéptido básico y otro ácido con una masa molecular de 20-25 y 30-40 kDa, respectivamente, conectadas por un enlace de disulfuro. La otra es una proteína de tipo 2S también conocida como albúmina.

Brinegar *et al.* (1996) afirman que la fracción de la proteína 2S aislada, es una serie heterogénea de polipéptidos con una masa molecular de 8-9 kD. Las globulinas 11S contienen cantidades moderadas de aminoácidos, pero en cuanto al azufre su cantidad es relativamente baja, al compararse con la composición de aminoácidos del total de la proteína. Los mismos autores agregan, que, de acuerdo a sus investigaciones parece ser que la proteína 2S es quien contribuye de manera considerable con los aminoácidos de azufre en la quinua. Se enfatiza en sus altos niveles de arginina e histidina, aclarando que si bien es cierto estos pueden ser sintetizados por el organismo humano, los niños no pueden producir lo suficiente para suplir sus necesidades metabólicas y de aquí la importancia de la fracción 2S como proteína alimentaria en especial para los niños, como suplemento enriquecido, complementado con la quenopodina.

Vera *et al.* (2019) y Janssen *et al.* (2017) en sus investigaciones hacen mención a las proteínas de la quinua, las cuales consisten en dos fracciones principales, globulinas quenopodina 11S (37%) y albuminas 2S (35%), (soluble en medio acuoso y de bajo peso molecular) estas representando las principales proteínas de almacenamiento. Estos autores coinciden en que el nivel de prolaminas está presente, pero en concentraciones bajas, Janssen *et al.* (2017) hacen mención que el bajo contenido de prolaminas es debido a que su distribución de masa molecular (MM) es escasa, señalando también a las glutelinas con pocas bandas de proteínas, y diferencias entre variedades; sin embargo, Burrieza *et al.* (2019) recientemente señala que la quinua no presenta prolaminas, por lo que es una excelente opción para personas celiacas, esto, referenciado por Bérnago *et al.* (2011). De acuerdo a los planteamientos expuestos en relación a las prolaminas y sus diferencias, se ve necesario realizar estudios científicos que permitan evaluar la presencia o no de las prolaminas, y en caso de que existan, que se puedan cuantificar y ver su efecto real en personas celiacas.

El objetivo de la investigación realizada por Wang *et al.* (2020) fue determinar tanto la composición y la estructura secundaria de proteínas aisladas en seis variedades diferentes de quinua de China. Se utilizó para ello, una combinación de análisis de aminoácidos, electroforesis en gel de poliacrilamida y dodecilsulfato de sodio (SDS-PAGE), y espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR). De acuerdo a la página de la Universidad Rey Juan Carlos (España) la espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) se utiliza en la caracterización de diversos compuestos para identificar los grupos funcionales. Esta técnica refleja las vibraciones propias de los grupos de átomos por lo que se usa para identificar de manera especial los grupos orgánicos.

Algunos aspectos claves a resaltar en los resultados de la investigación, de Wang *et al.* (2020) es que los aislados de la proteína de quinua, con pesos moleculares entre 10,0 kDa y 50,0 kDa, son ricos en aminoácidos esenciales. La principal estructura secundaria en la proteína aislada de quinua fue la hoja β (de 30,86% a 36,88%). El aminoácido más abundante encontrado en los aislados de proteína de quinua fue el ácido glutámico. En todas las variedades, el contenido de proteínas fue del 69,62 al 73,14%, lo que coincidió con datos de Abugoch *et al.* (2008). En las seis variedades de quinua estudiadas, el contenido de albúmina fue del 33,29 al 35,98% y el contenido de globulina del 15,13 al 19,82%. La variedad denominada QWQ tiene el contenido superior de albúmina, 35,98%, y la llamada SGQ tiene el mayor contenido de globulina, 19,82%. Las globulinas tienen dos grupos según su coeficiente de sedimentación (Svedberg): 11–12S y 7–8S. Las globulinas 11S y 7S son las principales proteínas de almacenamiento de la quinua. La cantidad total de albúmina y globulina representaron más del 50% de la proteína total, de ahí que la proteína de la quinua puede tener una superior solubilidad y más valor nutricional.

Las seis variedades, materia de estudio por parte de Wang *et al.* (2020) fueron: La quinua blanca (SWQ), la quinua negra (SBQ), la quinua gris (SGQ). Las otras tres variedades: blanca (QWQ) quinua negra (QBQ, quinua negra grande) y quinua gris (QGQ)

De otro lado Burrieza *et al.* (2019) realizaron estudio para determinar las globulinas presentes en la quinua por medio de la extracción de proteínas, empleando el método de precipitación con TCA / acetona, utilizando cuatro genotipos de semillas de quinua con orígenes diferentes, además de suelos y climas variados. Este estudio de las semillas de quinua se realizó por medio del análisis proteómico de escopeta y el análisis in silico. De acuerdo al Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, (Madrid-España) estas técnicas (análisis proteómico de escopeta) superan el obstáculo de trabajar con proteínas aisladas y en cambio se concentran en el análisis masivo de los péptidos trípticos producidos a partir de todo el proteoma, que tienen un fácil manejo. Por ello su calificativo de "shotgun" o "peptide-centric proteomics". En cuanto al análisis in silico se refiere a simulaciones, experimentos o análisis que se realizan por ordenador mediante algoritmos y predicciones computacionales.

Con este análisis Burrieza (2019) y sus colegas, lograron identificar dieciséis globulinas, trece se reportan por primera vez; nueve proteínas se asemejan a las leguminas, y las otras siete son similares a la vicilina. De las nuevas proteínas, siete contienen 7.5% o más de masa de lisina, lo que se considera un contenido significativo.

Chito *et al.* (2017) plantean que según Kozioł, los altos contenido de aminoácidos como lisina, histidina, metionina + cisteína e isoleucina y los bajos contenidos de triptófano, se relacionan directamente con las concentraciones de las albuminas y globulinas en la quinua.

Filho *et al.* (2017) señala que la globulina 11S, quenopodina, tiene un alto contenido de glutamina- ácido glutámico, asparaginas – ácido aspártico, leucina, glicina, arginina y serina,

pero dicen que es baja en aminoácidos de azufre. Mencionan también estos autores que la proteína 2S es rica en cisteína, arginina e histidina atribuyéndole características nutricionales para los niños especialmente.

Para facilitar la comprensión del tema, en la Tabla No. 3 se observa las fracciones proteicas de la quinua, de acuerdo al estudio realizado por diferentes autores.

Tabla No. 3

Fracciones proteica de la Quinoa de acuerdo a diferentes autores

Fracciones proteicas	Wang. X <i>Et al.</i> (2020)	Janssen (2016)	Aloisi (2016)	Martínez (2020)	Capraro (2020)	Quelal (2019)
Albuminas	33.29 al 35.98%	2S	2S 35%	2S 13.2 al 42.3%	2S 25 al 31%	2S 35%
Globulinas	Las globulinas tienen dos grupos según su coeficiente de sedimentación: 11–12S y 7–8S 15.13 al 19.82%	11S Quenopodina 37% Principal proteína de almacenamiento de semillas de quinoa.	11S Quenopodina 37%	11S 27.9 al 60.2%	11S Quenopodina 37 al 38% Aproximadamente	11S 37%
Glutelinas				18,1 al 31,6 %		

Nota: tabla elaboración propia con referencia a: Wang, X et al. (2020)., Janssen (2016)., Aloisi (2016)., Martínez (2020)., Capraro *et al* (2020) y Quelal (2019)

S: coeficiente de sedimentacion (svedberg)

El contenido de proteína en la quinua ha sido estudiado por diferentes autores, estos, relacionan diversas cantidades de acuerdo a la variedad. En su investigación sobre la proteína de la quinua Nowak *et al.* (2016) recopila una cantidad considerable de información, reportando rangos de contenidos entre 9,1g/100g (quinua blanca de Juli; Perú, pono) hasta 15,7g/100g (quinua puno; Serbia, Belgrado); otra investigación como la de Navruz y Sanlier (2016), se reporta un contenido de 14,12g/100g sin hacer mención de la variedad; en el caso Writgh *et al.* (2002) reportan un contenido de 16,1g/100g para la quinua dulce y 17,3g/100g para la quinua amarga.

Vilcacundo y Hernández (2017) en su artículo, exponen el contenido de macronutrientes y aminoácidos en la quinua. Estos autores, toman en su investigación como referencia rangos máximos y mínimos. En el caso de la proteína, refieren un contenido de 13,1g /100g como rango mínimo y 16,7 g/100g de rango máximo, donde el contenido mínimo es tomado de la investigación de Nowak *et al.* (2016) (dato promedio) y el contenido más alto es reportado por Vega-Gálvez *et al.* (2010).

Así mismo, sobre el contenido de aminoácidos Vilcacundo y Hernández (2017) reportan rangos promedio de aminoácidos basados en el artículo de Nowak *et al.* (2016).

En la Tabla No. 4 se expone el contenido nutricional de la quinua, de acuerdo a los datos obtenidos por Vilcacundo y Hernández (2017), los cuales, los obtuvieron de autores como Abugoch *et al.* (2009); Vega-Gálvez *et al.* (2010); Hübner y Arendt (2013); Navruz y Sanlier (2016), y Nowak *et al.* (2016). Para los datos de cereales como el trigo y el arroz, fueron obtenidos de la base de datos USDA los cuales toman como referencia para ser reportados en la investigación.

Tabla No. 4

Contenido nutricional del grano de quinua, trigo y arroz

Nutriente	Quinua Cruda	Trigo	Arroz
Energía kcal ^a	357-368	340	354
Total de proteína ^a	13.1-16.7	11.3	6.8
Total de lípidos ^a	5.5-7.4	1.7	0.7
Carbohidratos ^a	59.9-74.7	63.7	79.7
Fibra ^a	7-11.7	12.2	0.6
Cenizas ^a	2.7-3.8	1.5	0.5
Aminoácidos Esenciales ^c			
Histidina	1.4-5.4	2.4	2.4
Isoleucina	0.8-7.4	4.3	4.3
Leucina	2.3-9.4	8.3	8.3
Lisina	2.4-7.8	3.6	3.6
Metionina	0.3-9.1	2.4	2.4
Cisteína	0.1-2.7	2.1	2.0
Fenilalanina + tirosina	2.7-10.3	8.7	8.7
Treonina	2.1-8.9	3.6	3.6
Triptófano	0.6-1.9	1.2	1.2
Valina	0.8-6.1	6.1	6.1

Nota: Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017).

^a g/100g^cg/100g de proteína

Vilcacundo y Hernández (2017) sostienen que todos los aminoácidos esenciales están presentes en la proteína de la quinua los cuales cumplen con los requerimientos dados por la FAO/OMS/ONU para adultos.

Luego de la revisión efectuada a través de diferentes estudios y con el objetivo de precisar la información, se obtienen los valores correspondientes de la proteína en la quinua; este contenido oscila entre un 9,1% y un 16,8%. En la Tabla No. 5 se relaciona los contenidos de proteína por autor, y se obtiene el rango promedio del valor de la proteína en la quinua.

Tabla No. 5

Contenido de proteína en la quinua de acuerdo a diversos autores

Autores	Vilcacundo & Hernández	Burrieza <i>et al.</i> (2019)	Nowak <i>et al.</i> (2016)	Abellan <i>et al.</i> (2017)	Romo <i>et al.</i> (2007)	Angeli <i>et al.</i> (2019)	Promedio
Contenido de proteína en la quinua g/100	13,1	16,3	9,1	11,7	14,2	16,8	13,5

Nota: elaboración propia basado en Vilcacundo & Hernández (2017) Burrieza *et al.* (2019), Nowak *et al.* (2016), Abellan *et al.* (2017), Romo *et al.* (2007), Angeli *et al.* (2019)

En la Tabla No. 6, Rojas *et al.* (2016), relacionan el contenido nutricional y agroindustrial de acuerdo a las variedades y líneas estudiadas de la quinua, destacándose la variedad /línea K. por registrar el valor de 18,2 g/100, correspondiendo a un rango alto, comparado con las demás variedades.

Tabla No. 6

Valor nutritivo y agroindustrial de variedades y líneas de quinua

Variedades / Líneas	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	HC (%)	Almidón (%)	Amilosa (%)	Amilipectina (%)	Granulo almidón (u)	Hierro (mg 100g-1)
Real blanca	14,29	5,22	3,95	64,55	60,29	12,2	87,8	5,2	2,1
Kellu	12,78	7,98	4,28	62,87	52,65	13,8	86,2	2,1	2,8
Pandela	12,85	4,75	4,69	65,62	60,18	18,5	81,5	4,5	7,2
Mañiqueña	12,36	4,99	5,15	66,27	60,14	11,2	88,8	2,2	2,4
Kariquimeña	13,9	6,15	6,28	64,57	55,87	21,8	78,2	3,1	1,8
Qanchis	14,15	9,21	4,87	60,28	58,58	18,9	81,1	4	2,7
Kosuña	14,85	5,85	4,45	62,07	49,28	15,9	84,1	4,8	3,5
Intinaira	14,37	4,52	3,11	66,16	55,21	15,8	84,2	2,5	2,5
Chucapaca	13,78	4,25	5,25	64,23	48,65	19,1	80,9	2,1	1,1
Jacha grano	14,21	4,85	3,78	64,73	58,26	10,5	89,5	3,6	2,1
Blanquita	13,77	4,05	4,24	64,73	39,24	16,6	83,4	1,1	1,8
Aynokona	13,65	6,85	4,25	64,98	59,28	15,1	84,9	2,8	4,5
Kurmi	16,11	4,77	4,25	63,36	61,49	15,9	84,1	2,1	1,2
Línea K-Chullpi	18,2	6,5	3,05	62,64	61,41	21,5	78,5	1,5	4,8
L-118Cf	16,85	6,25	6,1	60,05	42,15	16,5	83,5	2,8	2,7

Nota: Wilfredo Rojas, Amalia Vargas Mena y Milton Pinto (2016).

Autores como OsmanliođLu & GençLer (2019) y Lung'aho *et al.* (2020) manifiestan que se han encontrado factores ambientales que afectan el contenido de nutrientes de las distintas variedades de la quinua. Lung'aho *et al.* (2020) en su investigación de tres variedades de quinua en África y Perú concluyen que el contenido de la proteína, se puede afectar por el tipo de suelo, su pH bajo, el alto contenido en nitrógeno, y la altitud de las áreas de siembra; Martínez *et al.* (2020) manifiestan así mismo, que el contenido y el perfil de aminoácidos se relaciona con el genotipo y las condiciones de crecimiento.

Aminoácidos

Los aminoácidos, son moléculas orgánicas que forman parte de las proteínas. Sanz (2006) afirma, que el nitrógeno (N) es el elemento de mayor valor con relación a los átomos que constituyen los aminoácidos, aproximadamente un 16 % del peso de la proteína o 1 g de N por cada 6,25 g de proteína. La completa ingesta de aminoácidos es indispensable para la nutrición en animales y seres humanos. Según Zea Morales *et al.* (2017) estos, se encuentran en número considerable en el organismo humano e intervienen en el mantenimiento de los biosistemas, en particular y como constituyentes de las proteínas. El ser humano utiliza 20 de los aminoácidos, dividiéndose en 2 grupos: esenciales y no esenciales.

Zea Morales *et al.* (2017), indica que los seres humanos no pueden sintetizar nueve de los 20 aminoácidos que se utilizan para formar las proteínas, los cuales son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. Mota *et al.* (2016) afirma: el aspecto más importante de una proteína, desde el enfoque nutricional, son sus aminoácidos esenciales (EAA), porque tienen esqueletos de carbono los cuales no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano, de forma que deben ser aportados por medio de la dieta.

De acuerdo con Boye *et al.* (2012) los aminoácidos están unidos por enlaces peptídicos y su principal función es suministrar el nitrógeno en la dieta diaria. Para garantizar el crecimiento y las funciones del cuerpo humano, se necesita la ingesta de unos niveles básicos de proteínas, así también un suministro apropiado de los aminoácidos esenciales que el cuerpo no puede sintetizar.

González-Torres *et al.* (2007) hacen mención de los veinte aminoácidos, que están codificados en el material genético de los organismos, su combinación puede tener cualquier orden y pueden repetirse de diferentes maneras para generar una u otra macromolécula. La configuración espacial de una determinada secuencia de aminoácidos, produce propiedades y funciones diferentes. Chito *et al.* (2017) afirman, la limitación de uno sólo de los aminoácidos produce la descomposición y eliminación de los demás, generando pérdidas de nitrógeno en el proceso dietario.

Posiblemente, son diferentes tipos de desnutrición, plantean González-Torres *et al.* (2007) dependiendo del aminoácido limitante, el cual, al no encontrarse en la proteína no permite la síntesis de nuevas proteínas. En la Tabla No. 7 se encuentran algunos de los aminoácidos esenciales con sus principales beneficios y los trastornos al presentarse deficiencias.

Tabla No. 7

Aminoácidos. Beneficios y Trastornos por deficiencia.

Aminoácidos	Beneficios	Trastornos Por Deficiencia
Histidina		Puede provocar un tipo de dermatitis en bebés, eccemas.
Metionina+cisteína	Su ingesta es beneficiosa para la protección del organismo contra afecciones como el	Su deficiencia puede revertir en síntesis pobres de fosfatidilcolina, y otros fosfolípidos, sustancias fundamentales para la función del

	hígado graso y la aterosclerosis.	sistema nervioso, así como para prevenir la aglutinación de células sanguíneas.
Triptófano	Modula los patrones del sueño, el humor	Trastornos depresivos.
Lisina	Activa la síntesis de colesterol en el hígado. Estimula la producción de colágeno y elastina	Puede ser un aminoácido limitante en dietas vegetarianas.

Nota: González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., & Nájera, H. (2007).

González-Torres *et al.* (2007) afirman que, el mayor problema para la nutrición humana lo representa la carencia de aminoácidos como triptófano, la lisina y la metionina, ya que su carencia es típica de poblaciones que tienen poco acceso a productos de origen animal, y en su dieta priman los cereales o los tubérculos como parte de su alimentación cotidiana. La población infantil es la más afectada, en lo referente al déficit de aminoácidos esenciales. Los mismos autores hacen referencia a la deficiencia de triptófano, explicando que se ha relacionado con trastornos depresivos. Su carencia a nivel nutricional, implica un problema de consideración ya que al ser un precursor de niacina (vitamina B3), la deficiencia de uno y otro, tiene relación directa con la enfermedad de pelagra, la cual es propia de las poblaciones en las que su nutrición se basa en la harina de maíz. (escasa en este aminoácido) La lisina se requiere en la creación de carnitina, útil en el metabolismo de las grasas.

Burrieza *et al.* (2019) destaca a la quinua por tener un equilibrio excepcional de aminoácidos, con mayor contenido de lisina, metionina y cisteína comparado con los demás cereales comunes. Osmanlioglu & Gençler (2019) destacan también a la quinua como un alimento con el equilibrio perfecto de aminoácidos, los cuales se acercan a los establecidos por la FAO; estos autores, se refieren en su investigación a que la quinua proporciona altos niveles de lisina, histidina y metionina+cistina, aminoácidos esenciales para la formación de proteínas.

Vilcacundo & Hernández (2017) hacen mención a los niveles lisina (entre 2,4 y 7,8 g / 100 g de proteína), metionina (0,3 a 9,1 g / 100 g de proteína) y treonina (2,1 a 8,9 g / 100g de proteína); así también, Craine & Murphy (2020) analizaron 100 variedades de quinua, cultivadas en Washington, región de producción nueva. Aspectos a resaltar en la investigación son las diferentes variedades de quinua empleadas, las que se encuentran disponibles comercialmente y el factor de riego: irrigado, no irrigado. Es necesario tener en cuenta, que las semillas de quinua empleadas no tuvieron ningún proceso antes de su análisis. Se observó un resultado positivo en el contenido de aminoácidos esenciales para los requerimientos diarios de todos los grupos de edad con la excepción del contenido de leucina de acuerdo al requerimiento diario para lactante de (6 meses) y niños de 1 y 2 años, señalando la deficiencia en las variedades estudiadas, las cuales son: 17GR (Mount Vernon; no irrigado), 102.17 (Sequim), 102.52 (Sequim), 102.76 (Chimacum), QQ74 (Mount Vernon; no irrigado), 104.59 (Sequim), 108.39 (Chimacum), 104.53 (Quilcene), recalcando que de las 100 muestras analizadas, solo el 9% de ellas cumplieron con los requisitos de leucina para todos los grupos de edad. Concluyen, que es el primer informe de leucina como un aminoácido limitante en la quinua, concluyendo que se debe investigar más a fondo la variación en la composición nutricional. Para este caso, alimentos como el arroz y el trigo de acuerdo con la tabla B podrían suplir este aminoácido ya que tienen un contenido considerable de leucina.

Por otro lado, Burrieza *et al.* (2019) en su investigación, referenciando a Bergamo *et al.* (2011) señalan que la desventaja de cereales como el arroz, trigo y maíz, consiste en la deficiencia principalmente de lisina y secundariamente de treonina o triptófano a lo que le atribuyen el alto contenido de prolaminas. La lisina es un aminoácido conocido como el aminoácido limitante de los cereales. Mota *et al.* (2016) determinaron en su investigación el

perfil de aminoácidos de la quinua, el amaranto y el trigo sarraceno, y lo compararon con el perfil de aminoácidos del arroz, encontrando valores bajos de lisina; concluyendo que los pseudocereales evidencian superioridad en el contenido de estos aminoácidos.

De aquí la importancia de la quinua y el trigo sarraceno al tener un mayor contenido de lisina, pudiendo ser el reemplazo del arroz en las dietas sin gluten. La quinua tiene en promedio un valor más alto en isoleucina, lisina y metionina, respecto al trigo y al arroz.

La Tabla No. 8 relaciona los promedios de contenido de proteínas y lisina que se encuentra en la quinua y cereales, de acuerdo a los patrones de la FAO.

Tabla No. 8

Promedios de contenido de proteína y lisina de la quinua y cereales

	Quinua	Trigo	Maíz	Arroz	FAO
^a Contenido de proteínas	16,3	14,8	10,5	8.8	-
^b Contenido de lisina	6	2.6	2.9	3.8	5.5

Nota: Burrieza *et al.* (2019)

^a valores de la proteína esta expresado por g/100g

^b valores de la lisina esta expresado por g/100g de proteína

-no relaciona.

De acuerdo a Morales *et al* (2017), es necesario resaltar que la ingesta experimental de L-lisina, añadida en la leche de infantes durante el período de lactancia, ha demostrado ser beneficiosa para la ganancia de masa corporal y la inducción del apetito en niños durante los primeros estadios del desarrollo postnatal.

En el mismo estudio también se evidenció que la suplementación con lisina mejora las propiedades nutricionales de las proteínas vegetales ingeridas. Otros estudios similares realizados en adultos y niños de ambos sexos en Ghana, Siria y Bangladesh, han destacado las propiedades benéficas de la ingesta de lisina en la reducción de diarrea en niños y de ciertas afecciones respiratorias mortales en adultos.

Calidad de la proteína de la quinua

La evaluación de la calidad de las proteínas tiene como objetivo determinar la capacidad de una proteína para suplir los requerimientos normales de mantenimiento del organismo y los especiales, como el crecimiento, el embarazo y la lactancia, así lo expresa Boye *et al.* (2012), además agrega que, definir la calidad de la proteína alimentaria, implica determinar su capacidad para satisfacer el requerimiento metabólico del organismo de aminoácidos y nitrógeno, y establecer su composición de aminoácidos, su digestibilidad (de la proteína) y la biodisponibilidad de cada aminoácido. Tanto la digestibilidad y la biodisponibilidad pueden afectarse por los niveles y tipos de grasas, carbohidratos y compuestos antinutricionales; la calidad de la proteína también parte de los requerimientos específicos de cada individuo.

En general, se recomienda de 40 a 60 g de proteínas al día para un adulto saludable. Así lo asegura González-Torres *et al.* (2007) y agregan, la WHO y las RDA (del inglés Recommended Dietary Allowances) de EUA recomiendan un valor de 0.8 a 1.0 g / kg de peso al día para un adulto en condición normal.

La calidad de proteína de un alimento, se define por sus aminoácidos presentes. De acuerdo a la FAO (2011) el patrón de puntuación de los aminoácidos esenciales de la quinua supera los patrones estándares requeridos de los 8 aminoácidos esenciales.

De acuerdo a Angeli *et al.* (2020), la quinua, al ser una fuente importante de proteínas puede ser aprovechada como fuente de oligopéptidos en la elaboración de concentrados e hidrolizados, debido a que proporciona aminoácidos esenciales que permiten mejorar la asimilación de las proteínas ingeridas en el organismo, (aumentando su digestibilidad) específicamente para personas con regímenes especiales y además de su valor biológico, las proteínas pueden ser aprovechadas por las propiedades tecnológicas en la industria proporcionando una nutrición adecuada y garantizando una buena salud.

La Tabla No. 9, evidencia el perfil de aminoácidos esenciales de quinua y otros cereales, comparado con el patrón de puntuación de aminoácidos recomendados por la FAO para niños mayores de (3 a 10 años) adolescentes y adultos.

Tabla No. 9

Perfil de aminoácidos esenciales según la FAO, comparado con la quinua y otros cereales

Aminoácidos*	FAO	Quinua	Maiz	Arroz	Trigo
Isoleucina	3.0	4.9	4.0	4.1	4.2
Leucina	6.1	6.6	12.5	8.2	6.8
Lisina	4.8	6.0	2.9	3.8	2.6
Metionina	2.3	5.3	4.0	3.6	3.7
Fenilalanina	4.1	6.9	8.6	10.5	8.2
Treonina	2.5	3.7	3.8	3.8	2.8
Triptófano	0.7	0.9	0.7	0.7	1.2
Valina	4.0	4.5	5.0	5.0	4.4

Nota: Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Piatti, C. (2020). *los valores son un patrón de puntuación según la FAO

Vásquez *et al.* (2019) mencionan que la calidad de proteína en la dieta es medida por varios métodos, muchos de los cuales están relacionados con respuestas de animales (a menudo "ratas") después de su alimentación con proteína. Señalan que estos métodos reflejan el suministro de aminoácidos y la digestibilidad de proteínas.

Para Joye *et al.* (2019) el método de puntuación de aminoácidos corregida por digestibilidad de proteínas (PDCAAS) es el más apto para cereales, con el cual la quinua puede ser evaluada. Otros autores como Boye *et al.* (2019) Vilcacundo (2018) entre otros, coinciden en el método de evaluación y relacionan el PER como el más común para evaluar proteínas. De acuerdo a Ayala *et al.* (2001) la puntuación de relación de eficiencia proteínica para la quinua es de 3,32 para la variedad blanca y 2,11 para la variedad sajama; en el caso de PDCAAS el puntaje es de 85% para la harina de quinua, dato recalculado por Boye *et al.* (2019), usando la referencia para niños de 1-2 años con aminoácidos limitantes (valina y lisina), datos obtenidos por FAO/WHO/ONU (1985). En la tabla No. 10 se encuentran los métodos más empleados, su definición y sus fórmulas.

Tabla No. 10

Relación de algunos métodos comunes de evaluación de proteínas

Metodo	Definicion
VB	<p>Valor biológico indica el nitrógeno que es utilizado para fines de reproducción de tejido y mantenimiento. Este sistema de valoración proteica se expresa en %</p> $VB = \frac{\text{Nitrogeno retenido}}{\text{Nitrogeno absorbido}} \times 100$
PER	<p>Índice de eficiencia proteica, evalúa la calidad nutricional de las proteínas para los seres humanos, se evalúa mediante ratas jóvenes de rápido crecimiento, la cual se utiliza con las proteínas de los alimentos. Es calculado como la ganancia de peso corporal en g por g de proteína consumida.</p> $PER = \frac{\text{aumento de peso (g)}}{\text{consumo (g)} \times \% \text{proteia}}$
NRP	<p>Este método también evalúa la calidad nutricional de la proteína con un factor adicional que relación la pérdida de peso promedio en ratas alimentadas con una dieta sin proteínas. Este método las clasifica por el producto PER de una proteína multiplicado por la cantidad de proteína de una ingesta diaria razonable</p> $NRP = PER \times \text{cantidad de proteina ingerida}$
PDCAAS	<p>Puntuación de aminoácidos corregida por digestibilidad de proteínas, es definida como la concentración de aminoácido limitante en la proteína alimentaria y es expresado como porcentaje de concentración del mismo aminoácido limitante en un patrón de referencia. Esta, es corregida para la digestibilidad de la proteína fecal verdadera de la proteína de prueba, utilizando el modelo de rata.</p> $PDCAAS = \frac{\text{mg de aminoacido limitante de la proteina}}{\text{mg of same amino acid in 1g of reference protein}} \times \text{fecal true diges}$
NPPU	<p>Utilización de proteínas postprandiales, este método determina la digestibilidad y la utilización de la proteína postprandial, es calculado utilizando la digestibilidad verdadera y parámetros de diseminación de proteínas.</p>

$$\text{Calculo: \%NPPU} = 100x \left[\frac{{}^{15}\text{N ingerida} - ({}^{15}\text{N ileal} + {}^{15}\text{N} - \text{urea corporal} + {}^{15}\text{N urinaria})}{{}^{15}\text{N ingerida}} \right]$$

DIAAS Puntaje de aminoácidos indispensables, el cual compara el contenido de todos los aminoácidos esenciales digestibles en una proteína comparado con una proteína de referencia.

DIAAS

$$= \frac{\text{mg de aminoácido indispensable en la dieta en 1g de proteína de p.}}{\text{mg de aminoácido indispensable en la dieta en 1g de proteína de ref}}$$

Nota: elaboración propia basado en: Joye, I (2019); Boye, J., Wijesinha-Bettoni, R & Burlingame, B (2012).

Biodisponibilidad de las proteínas de la quinua

El concepto de biodisponibilidad aplicado a las proteínas expresa la proporción de la cantidad total de aminoácidos que pueden ser absorbidos y utilizados metabólicamente. Según Rodríguez *et al.* (2020) la biodisponibilidad se refiere a todo lo que se absorbe de los alimentos que se consumen y pasa a la sangre. Señalan también que los alimentos de más fácil absorción, mejoran la salud al proporcionar todos los macro y micro nutrientes, por lo que se denomina alimento saludable. Boye *et al.* (2012) se refiere a la biodisponibilidad de proteínas como la proporción de aminoácidos dietéticos ingeridos, los cuales se absorben de una forma adecuada para la síntesis de proteínas. Agrega, además, que no hay un método directo de medir la biodisponibilidad por lo que se estima usando medidas de digestibilidad in vivo.

López *et al.* (2018) hacen referencia a los pseudocereales, y a la composición equilibrada de aminoácidos en sus proteínas, razón por la cual se genera una alta biodisponibilidad. Así mismo, agregan que al no tener gluten los pseudocereales pueden garantizar un consumo adecuado de nutrientes por parte de personas celiacas.

Boye *et al.* (2012), Joye *et al.* (2019) y Kårlund *et al.* (2020) coinciden en que los factores anti nutricionales son una de las causas de la reducción de la biodisponibilidad. La quinua contiene algunos de ellos como: las saponinas, taninos, ácido fítico, inhibidores de proteasa.

Rodríguez *et al.* (2020) señala que el fitato (mioinositol-6- fosfato) es un inhibidor de zinc, hierro y calcio. Los glucosinolatos, los inhibidores, pueden afectar la utilización digestiva y metabólica de la proteína. Kårlund *et al.* (2020) mencionan a los compuestos fenólicos, importantes para la calidad y la estabilidad de alimentos, sin embargo, estos pueden formar complejos con moléculas proteínicas en condiciones gastrointestinales lo que puede generar una interferencia en la biodisponibilidad de proteínas.

Navruz & Sanlier (2016) afirman que la biodisponibilidad de los aminoácidos en la quinua, puede modificarse según la variedad de quinua que se consume y puede aumentar de forma significativa con el proceso de la cocción. Rodríguez *et al.* (2020) cita en su artículo a Ruales y Nair (1993); Valencia *et al.* (1999); Lazarte *et al.* (2015), señalando que procesos como: la germinación, remojo, cocción y fermentación disminuyen el compuesto fitato en la quinua permitiendo así la bioasimilación del hierro. De acuerdo con lo anterior, se deduce que los procesos a los cuales es sometida la semilla, influyen de forma favorable en su biodisponibilidad.

Con relación a la digestibilidad, Boye *et al.* (2012) afirman, para que se liberen los aminoácidos, previamente las proteínas se deben digerir. La digestibilidad se define como la utilización digestiva, el equilibrio de aminoácidos en el intestino delgado o digestibilidad ideal (boca a íleon), o en todo el intestino o digestibilidad fecal (boca a ano:), esto de acuerdo al principio de que el grado de digestión y absorción de proteínas alimentarias y aminoácidos por el

tracto gastrointestinal, para ser usados por el cuerpo, estaría dado por la diferencia entre ingesta y pérdidas.

La digestibilidad puede verse afectada por factores tanto internos como externos, así lo afirma Joye *et al.* (2019) En los factores internos se puede incluir el perfil de aminoácidos, el plegamiento de proteínas. Factores externos, corresponden al pH, la temperatura, fuerza iónica, y los factores antinutricionales. El procesamiento de los alimentos tiene una relación estrecha con estos factores y por tanto con la digestibilidad de las proteínas. Agregan Joye y sus colegas: el procesamiento, está destinado a aumentar el valor nutricional de los productos alimenticios, haciendo que proteínas y aminoácidos estén disponibles en función de los procesos digestivos, contrarrestando la acción por ejemplo de factores antinutricionales, por medio de la reducción del tamaño de partículas, tratamientos de calor y presión, soplado por extrusión y explosión, fermentación y germinación, hidrólisis de proteínas, proceso de panificación para cereales.

Con relación al mismo tema, Swaisgood (1991) expresa que la utilización biológica de una proteína depende fundamentalmente de su digestibilidad por las peptidasas gástricas, pancreáticas e intestinales; su composición de aminoácidos esenciales; y la absorción de aminoácidos y dipéptidos y tripéptidos a la sangre. Agrega el autor, refiriéndose a la calidad nutricional del alimento y sus múltiples variables a tener en cuenta y subraya la digestibilidad como el único factor posible a controlar pudiendo indicar cualquier cambio en la calidad nutricional. El mismo autor hace énfasis en los métodos *in vitro* para probar la digestibilidad, y para determinar la calidad de las proteínas, valorando posibles cambios en su estructura.

Boye *et al.* (2012) se refiere a las implicaciones del proceso de fermentación, en el que se utilizan microorganismos como bacterias, mohos y levaduras que pueden hacer parte de los alimentos o se pueden añadir para inducir la fermentación. Los microorganismos utilizados

sintetizan enzimas que hidrolizan los componentes alimentarios y contribuyen al desarrollo de productos con propiedades organolépticas deseables, mejorando su valor nutricional, y contribuyendo a disminuir o eliminar factores antinutricionales.

Kårlund *et al.* (2020) asegura que este proceso también se ha aplicado en el procesamiento de la quinua, y en cuanto a la fermentación con cepas de *L. plantarum* se produjo el aumento de solubilidad del Fe, Zn y Ca y se redujo el ácido fítico. Además, la fermentación de semillas de quinua molidas demostró luego de 4 h, una buena eficiencia en la reducción del ácido fítico y una capacidad moderada para mejorar la disponibilidad estimada de Zn, Fe y Ca. Se encontró que la masa madre de quinua, preparada con *L. plantarum* T6B10 y *L. rossiae* T0A16 para elaborar pan, presentó mayores niveles de aminoácidos libres y fenoles totales, disminución de los taninos condensados; en comparación con la masa de quinua no inoculada que presentó aumento de la fitasa. Sobre la fermentación de suspensiones de harina de quinua con *L. rhamnosus* SP1 o *L. plantarum* T6B10 para elaborar productos de tipo yogur, la misma autora explica el resultado y destaca el aumento en el total de aminoácidos libres y compuestos fenólicos totales. Además, los índices de aminoácidos esenciales, las puntuaciones de proteínas, y los valores biológicos e índices nutricionales aumentaron de manera considerable, mejorando aún más, luego de un período de almacenamiento de 20 días.

Kårlund *et al.* (2020) agrega que la fermentación de la quinua se ha combinado en ocasiones con otras tecnologías, como la germinación, la molienda o el tostado. Estos tratamientos previa o posteriormente, por lo general reducen aún más el ácido fítico y, aumentan la solubilidad de los minerales; parece ser que el tostado en seco después de la fermentación es más eficiente en la reducción del ácido fítico y la disponibilidad de minerales.

Lípidos

En las grasas alimentarias están incluidos los lípidos de tejidos vegetales y animales que se ingieren. Los ácidos grasos son las moléculas lipídicas con alto interés nutricional, así lo afirma, García (2006). Hay dos clases básicas de ácidos grasos, agrega el mismo autor, los *saturados*, estructuras lineales de átomos de carbono unidos por enlaces simples; se encuentran en animales terrestres, especialmente en los mamíferos, así como en algunos aceites de coco y palma. Están, además, los *insaturados*, contienen dobles enlaces. Dentro de los *ácidos grasos monoinsaturados*, está el ácido oleico que está en la mayor parte de las grasas animales y en varios de los aceites vegetales, especialmente en el aceite de oliva, con un contenido de hasta un 80%.

Carbajal (2013) define los lípidos como sustancias insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, en los que están incluidos los triglicéridos (grasas y aceites), fosfolípidos y esteroides. (colesterol es un ejemplo). La grasa es una fuente considerable de energía que puede suministrar, un promedio de 9 kcal/g al ser oxidada en el organismo, siendo esta su característica fundamental en los procesos nutritivos. Por tanto, los lípidos se caracterizan por ser elementos de reserva y protección.

En la quinua, los ácidos grasos insaturados son los que predominan (71 a 84,5% de los lípidos totales) por lo que su aceite se valora de buena calidad nutricional. Los ácidos grasos saturados totales pueden variar entre 15,5% y 29,0% de los lípidos totales en la quinua, de este modo lo expresa Martínez *et al.* (2020). En la misma línea Vilcacundo & Hernández (2017) basado en Navruz & Sanlier (2016), mencionan el ácido palmítico como el principal ácido graso saturado encontrado en la quinua, lo que sería el 10% de total de ácidos grasos y mostrando que

los ácidos grasos insaturados oleicos (19,7-29,5%), linoleicos (49,0-56,4%) y alfa-linoleicos (8,7-11,7%) representan el 88% de la cantidad total de ácidos grasos de la semilla de quinua.

En su estudio Abugoch (2009) registra los siguientes datos: la quinua tiene un contenido de aceite (7% base seca) superior al del maíz (4,9% base seca) y menor que la soja (20,9% base seca). Hace referencia al análisis químico realizado por Prego *et al.* (1998) donde se evidencia que las células del endospermo y tejidos embrionarios son los que almacenan los compuestos lipídicos.

Osmanlioğlu & Gençler (2019) destacan la calidad y cantidad de la fracción lipídica de la quinua. Comparan la composición del maíz, y la soja con la quinua, dando como resultado niveles similares de ácidos grasos linoleico, oleico y alfa-linoleico. Revisando los datos, se afirma que la quinua, tiene entre 3 y 4 veces el contenido de lípidos, en comparación al trigo; respecto al arroz es 8 veces más alto su contenido.

Navruz & Sanlier (2016) afirman sobre la quinua que se puede considerar como una semilla oleosa alternativa gracias al valor nutritivo y saludable de sus lípidos.

Pereira *et al.* (2014) muestra en la Tabla No. 11 la composición de ácidos grasos esenciales en semillas de quinua, de acuerdo a la valoración de diferentes autores.

Tabla No. 11

Composición de ácidos grasos esenciales en semillas de Quinoa

Ácido linoleico (C18:2)	Acido α - linolénico (C18:3)	Referencia *
52,0	9,8	Ando <i>et al</i> (2002)
53,1	6,2	Koziol (1992)
45,17-54,18	4,64-8,30	Miranda <i>et al</i> (2012a)
51,653	2,873	Palombini <i>et al</i> (2013)
50,2	4,8	Repo- Carrasco <i>et al</i> (2003)
52,3	3,9	Ruales y Nair (1993)
44,2-57,5	3,2-9,4	Vidueiros <i>et al</i> (2015)
52,3	8,1	Wood <i>et al</i> (1993)

Nota: Padrón, P, C, A., Oropeza, O, R AZ & Hernández, A, I, M (2014).

Los contenidos son expresados en g/100g de grasa

Las cifras relacionadas con la composición de ácido linoleico se acercan entre sí de manera proporcional; aunque hay en parte, unas cifras mínimas dadas por Vidueiros *et al.* (2015) y por Miranda *et al.* (2012). En cuanto al ácido α -linolénico, se evidencia que hay diferencias marcadas, así lo indica el mínimo: 2,873 Palombini *et al.* (2013) y el máximo: 9,8 Ando *et al.* (2002) Pereira *et al.* (2014) plantean en su investigación, que, genotipos de quinua pueden variar en su contenido de ácidos grasos por su distribución geográfica. Además, que las diferentes fases del crecimiento (estado embrionario y/o adulto) también pueden influir.

Otra característica importante es la presencia de una cantidad considerable de vitamina E (a-tocoferol), 0.59-2.6 mg / 100 g en las semillas de quinua, lo cual genera un aceite estable que impide la oxidación de los lípidos, así lo refiere Abugoch (2009)

De acuerdo a Angeli *et al.* (2020) el aceite de quinua tiene una amplia concentración de antioxidantes como α - y γ -tocoferol, lo que garantiza al aceite de quinua una vida útil amplia, por su carácter antioxidante, generando protección hacia los ácidos grasos contra el daño ocasionado por los radicales libres

Carbohidratos

Navruz & Sanlier (2016) se refieren a la quinua como un grano rico en carbohidratos, su contenido es de 59.9-74.7% un poco menor que el contenido del arroz, dependiendo de su variedad. Además, hacen referencia al almidón como el principal componente de carbohidratos de la quinua. Villarroel *et al.* (2018) relaciona al almidón como una mezcla específica de dos polisacáridos, estos son la amilosa y la amilopectina; la configuración y enlace entre estos polisacáridos, junto con la presencia de fosfolípidos determinan propiedades como la viscosidad, estabilidad, transparencia, retrogradación. De acuerdo a Abugoch (2009), el porcentaje de amilosa y amilopectina se encuentran entre 3,5 - 22,5 % y 77,5 % respectivamente.

Martínez *et al.* (2020) afirman, el almidón de acuerdo a su descomposición en el intestino se puede clasificar, de digestión rápida, de digestión lenta o resistente. En cuanto a este último tipo se afirma que proporciona beneficios para la salud, ya que al no digerirse ni absorberse en el intestino delgado, llega al colon, y así los microorganismos lo fermentan pausadamente para producir ácidos grasos de cadena corta. Las actuales pautas dietéticas sugieren que los alimentos con almidón deben contener al menos un 14% de almidón resistente, sobre una base total de almidón.

En su revisión Chito *et al.* (2017) ubican al almidón de la quinua, como el polisacárido de reserva de mayor importancia, representando en promedio un 60%. Los gránulos de almidón de la quinua tienen forma poligonal y un diámetro más pequeño ($<3,0\mu\text{m}$) que los encontrados para

el trigo (hasta 40 μ m) y el maíz (hasta 23 μ m). Esta es una característica asociada a una mayor temperatura de gelatinización y de viscosidad, más que las detectadas para otros granos. Esta propiedad, hace que la quinua sea considerada como un producto de gran potencial en la industria alimentaria para la obtención de películas biodegradables o como aditivo alimentario. Así mismo Angeli *et al.* (2020) establece la comparación del almidón de trigo y cebada, con el de la quinua, presentando esta última la mayor viscosidad, la máxima capacidad de absorción de agua y excelente poder de hinchamiento.

Dentro de este contexto, Rojas *et al.* (2016) resaltan la importancia del tamaño del gránulo, al facilitar el proceso de texturizado y de insuflado, ya que los espacios entre los gránulos posibilitan ingresar más aire para el intercambio y formación de burbujas de aire. Esto permite realizar diversas mezclas con cereales y leguminosas.

Villarroel *et al.* (2018) en su trabajo de investigación, explica sobre las diversas técnicas de extracción de almidón de quinua y señala que estos procesos se han realizado a partir del grano o empleando la harina. La molienda húmeda ha sido uno de los métodos más comunes.

Calandri (2015) describe el método así: se lava previamente el grano, luego se remoja, para dar inicio a la molienda húmeda del grano por medio del molino de rodillos, permitiendo así la separación del almidón el cual se seca por medio de spray, obteniendo un rendimiento del 70% y una pureza del 98%.

Navruz & Sanlier (2016), afirman sobre la fibra dietética total en la quinua que está cercana a la de los productos de cereales 7% -9,7%, y su fibra soluble esta entre 1,3% y 6,1%; contiene azúcar en un 3%, principalmente maltosa, D-galactosa y D-ribosa, además de fructosa y glucosa, en bajos niveles. con relación a los carbohidratos, entre la quinua y el trigo, su

contenido se puede equiparar. En cuanto a la fibra, la quinua contiene 12 veces más fibra que el arroz.

Minerales

La mayor parte de los minerales en los pseudocereales se encuentran en el salvado, aseguran Martínez *et al.* (2020) considerándose, por tanto, los granos enteros muy buenas fuentes de minerales. El amaranto cuenta con la mayor cantidad de minerales seguido de la quinua y el trigo sarraceno.

Vilcacundo y Hernández (2017) señalan que las semillas de quinua contienen alto contenido de calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc. Menciona también que la mayoría de estos minerales se presentan en concentraciones altas con respecto a los demás granos, mostrando que el magnesio y potasio se encuentra en la quinua en formas biodisponibles, teniendo en cuenta los contenidos adecuados para una dieta equilibrada. Por otro lado, Navruz y Senlier (2016) mencionan que el contenido de calcio y hierro es superior a los cereales comunes; la quinua es alta en hierro, pero las saponinas y los ácidos fíticos del grano, pueden afectar su biodisponibilidad. Las concentraciones de minerales pueden cambiar de manera considerable según Angeli *et al.* (2020), cuando se cultiva la quinua en suelos de diferentes composiciones y expuestos a fertilizantes. Es de resaltar su contenido de minerales, teniendo un mayor contenido de calcio (87mg/100g) con respecto al del arroz (22mg/100g), trigo duro (35mg/100g) y maíz (8mg/100g) de acuerdo a los datos recopilados por Nowak *et al.* (2016)

En la Tabla No. 12 se expone el contenido de minerales de la quinua reportado por Vilcacundo y Hernández (2017), datos obtenidos recopilados de diversos autores como Abugoch James, (2009); Vega-Gálvez y col (2010); Hübner y Arendt (2013); Navruz-Varli y Sanlier (2016), y Nowak *et. al* (2016). Se observa el rango mínimo y máximo encontrados por estos

autores en sus respectivas investigaciones. Para los datos del trigo y el arroz, fueron obtenidos de la USDA (2005).

Tabla No. 12

Contenido de minerales de la Quinoa

Minerales ^B	Quinoa Cruda	Trigo	Arroz
Calcio	27.5-148.7	35	22
Hierro	1.4-16.7	5	1,4
Magnesio	26.0-502.0	103	NA
Fosforo	140.0-530.0	393	119
Potasio	696.7- 1475.0	478	80
Sodio	11.0-31.0	2	31
Cinc	2.8-4.8	3,7	0,6
Cobre	1.0-9.5	0,4	0,1

Nota: Vilcacundo, R., & Hernandez – Ledesma, B (2017)

^b mg/100g

NA: no disponible

Vitaminas

La Tabla No. 13 muestra que la quinoa es rica en vitaminas como la piridoxina (B6) y ácido fólico en altas concentraciones, considerando así que los niveles de ácido fólico en 100g de quinoa alcanza el requerimiento diario para adultos. Osmanlioğlu & Gençler (2019) afirman que la quinoa aporta un 80% de riboflavina en los niños y 40% en adultos, por el contrario, la niacina no cumple con el requerimiento. Señalan también que la quinoa es una excelente fuente

de vitamina E, expresando que los procesos por lo que la semilla puede pasar, podrían alterar su contenido de vitaminas.

Del mismo modo, dicen Vilcacundo y Hernández (2017), los niveles de riboflavina, piridoxina y ácido fólico en la quinua son mayores que los de otros granos como trigo, avena, cebada, centeno, arroz y maíz. Sobre el contenido de vitamina E, se dice que es superior al del trigo. En cuanto a la vitamina C tiene igualmente un alto nivel, en un rango de 4.0 a 16.4 mg / 100g de materia seca. El contenido de tiamina es menor en relación a la avena y a la cebada.

La Tabla No. 13 relaciona el contenido de vitaminas en la quinua; datos reportados por Vilcacundo y Hernández (2017), donde exponen valores máximos y mínimos encontrados en las investigaciones de diversos autores como: Abugoch James (2009); Vega-Gálvez y col (2010); Hübner y Arendt (2013); Navruz-Varli y Sanlier (2016), y Nowak *et al.* C (2016). Los datos de contenido del trigo y el arroz fueron obtenidos de la USDA (2005)

Tabla No. 13

Contenido de vitaminas de la Quinua

Vitaminas ^C	Quinua Cruda	Trigo	Arroz
Ácido ascórbico ©	4.0-16.4	NA	NA
-tocoferol (E)	2.6-5.4	1,4	0,7
Tiamina (B1)	0.3-0.4	0,5	0,2
Riboflavina (B2)	0.3-0.4	0,1	0,1
Niacina (B3)	1.1-1.5	5,1	4,4
Piridoxina (B6)	0.5	0,3	0,3
Folato	0,2	0,1	0,1

Nota: Vilcacundo, R., & Hernandez – Ledesma, B (2017). Nutritional and biological value of quinua (*Chenopodium quinua* Willd). *Current Opinion in Food Science*. 14, 1-6.

^c g/100g

NA: no disponible

Al realizar el análisis en conjunto de la anterior temática, se puede concluir sobre la importancia de la Quinoa como una opción en la dieta alimentaria al contar en sus proteínas con todos los aminoácidos esenciales, la importancia del aporte nutricional como tal, y de manera fundamental el papel que juega en los procesos metabólicos del organismo humano.

Análisis del consumo de la quínoa como fuente de proteína en humanos y sus beneficios

López *et al.* (2018) afirma que podría fomentarse el uso de proteínas de quinoa y amaranto y sus hidrolizados como ingredientes benéficos para la salud que se incorporan a alimentos funcionales. Motta *et. al* (2019) expresa que los pseudocereales tienen un equilibrio excepcional de aminoácidos con respecto a cereales comunes, (trigo, arroz entre otros) con un contenido de lisina, metionina, y cisteína que los otros granos son deficientes en estos aminoácidos.

Según el estudio de Miranda & Paul (2019), muestra que la desnutrición es una causa continua de mortalidad prematura en los niños menores de 5 años en los países en vía de desarrollo, caracterizados por la pobreza extrema, concluyen en su investigación que la quinoa puede ser un gran sustituto ante la escasez de proteínas de origen animal, siendo un complemento en el mejoramiento en la nutrición de los niños, adecuándose a la condición socioeconómica de cada país. La quinoa puede ser un gran suplemento de proteína en la dieta diaria del ser humano, con un buen proceso de este grano se puede llegar a suplir muchas necesidades tanto en casos de dietas comunes, y para personas veganas, como también para complementar las necesidades alimentarias en poblaciones vulnerables entre otros. Con relación a la ventaja de la quinoa,

respecto a otros granos, Navruz & Sanlier (2016) expresa que se debe a su contenido más rico en las proteínas, y los lípidos.

Como se ha ido evidenciando en el desarrollo de los temas, son múltiples los beneficios de la quinua y de acuerdo a Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2017) se pueden sintetizar así: facilita la digestión, aporta en resistencia física, contiene tanta proteína como la leche, fortalece los riñones, el corazón y los pulmones.

Factores antinutricionales de la quinua

De acuerdo a Chito *et al.* (2017), en los alimentos existen factores antinutricionales que se originan de manera natural y pueden alterar la calidad, propiedades, digestibilidad, y biodisponibilidad de las proteínas.

Ácido Fítico

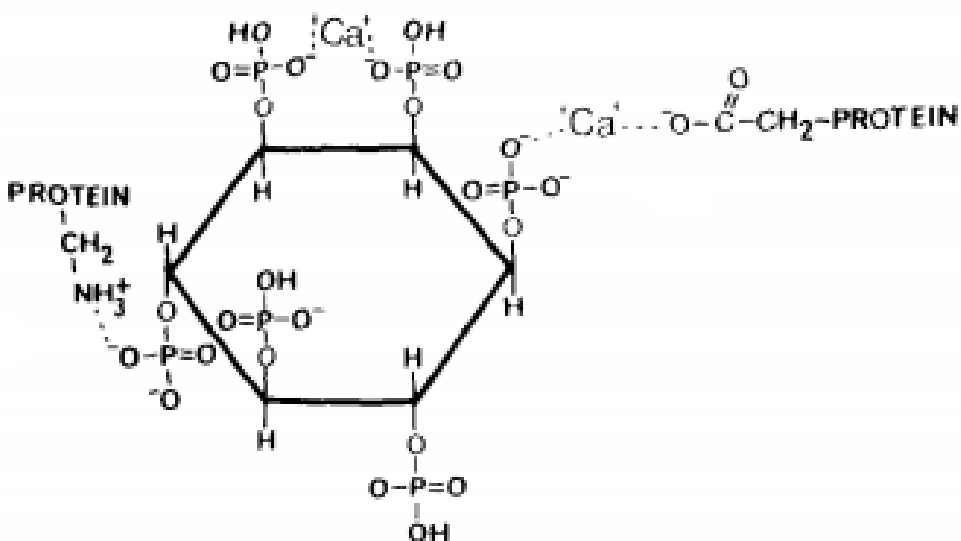
Martínez *et al.* (2002) en su revisión afirma sobre el ácido fítico, (*myo*-inositol hexafosfato) y sus sales derivadas que estos constituyen la mayor reserva de fósforo en semillas de cereales y leguminosas. De esta forma el P no está disponible ni para el hombre ni para los animales monogástricos,

De acuerdo a Martínez *et al.* (2002), son varios modelos los propuestos para la estructura del ácido fítico. Así, por ejemplo, el AF puede ser una molécula con seis grupos ortofosfato (InsP6), con el nombre químico *myo*-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 - *hexakis* (dihidrógeno fosfato). En la Figura 4 se puede observar. Según esta estructura el AF es una molécula cargada negativamente, bastante reactiva, por lo que presenta una gran capacidad para formar complejos o unirse a moléculas cargadas positivamente tales como cationes o proteínas. Castro *et al.* (2019) agrega: el ácido fítico se une a cationes divalentes de cargas positivas como el hierro, zinc, calcio, proteínas, y forman complejos de fitato (IP6), estables a pH intestinal (6–7), inhibiendo

de esta forma la absorción de minerales en el intestino delgado. Morales, M. & Troncoso, A. (2012) en su estudio plantean que los fitatos pueden interactuar con proteínas, hidratos de carbono-almidón-, afectando su solubilidad, funcionalidad, digestión y absorción.

Figura No. 4

Interacciones de ácido fitico con los minerales y proteínas



Nota: Martínez Domínguez, Beatriz., Ibáñez Gómez, Victoria y Rincón, León Francisco (2002).

Ácido fitico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas.

Gilani *et al.* (2012) reafirma lo expresado por los anteriores autores, expresando que el ácido fitico además de quelar varios nutrientes esenciales en el tracto gastrointestinal, reduce del mismo modo su biodisponibilidad. Esta sustancia se produce de forma natural en las plantas como semillas, granos y nueces, donde funciona como el origen de nutrientes minerales para ser utilizado durante la germinación.

El mismo autor, indica que este componente, se distribuye uniformemente a lo largo de los granos en semillas dicotiledóneas, en semillas oleaginosas y en las leguminosas. En la quinua

el ácido fítico está presente en las capas externas y en el endospermo según Maradini *et al.* (2017). De acuerdo a Chito *et al.* (2017) el ácido fítico, está presente en el embrión, perispermo, endospermo, en variadas proporciones, siendo el embrión el que alberga más contenido, pero dependiendo de la variedad del grano. Para Koziol (1992) la cantidad de ácido fítico en la quinua es mayor que en otros granos, reportando en su investigación un contenido de 1,05 a 13.1 g/100g de esta sustancia en cinco variedades diferentes. De acuerdo a Chito *et al.* (2017) el contenido de fitatos o ácido fítico, para la quinua puede estar entre 100 y 2.280mg/100g para el grano pulido y alrededor de 1.000mg/100g para grano entero. Esta sustancia, puede ser reducida de acuerdo a procesos a los que son sometidas las semillas de la quinua como: extrusión (altas temperaturas, tratamiento de alto cizallamiento) así lo menciona Joye *et al.* (2019) haciendo referencia a que los tratamientos térmicos clásicos no afectan los niveles de fitato. Procesos como la molienda, germinación, y fermentación, pueden reducir el contenido de ácido fítico en la quinua.

Chito *et al.* (2017) añade con relación al tema: son necesarios tratamientos adicionales (a los que hace alusión, Joye), que posibiliten reducir el contenido de fitatos sin que se altere el contenido de minerales, de forma que se activen las fitasas capaces de hidrolizar los fitatos y se aumente la biodisponibilidad de minerales antes de su consumo. Rosero *et al.* (2013) al referirse a las enzimas como la fitasa, resalta su importancia en el proceso bioquímico del ciclo del P y su eficacia para catalizar la desfosforilación del ácido fítico y liberación de calcio, hierro, zinc y otros metales.

Los estudios además han demostrado las propiedades antiinflamatorias y antitumorales del ácido fítico, así lo asegura Frontela *et al.* (2008), debido a su capacidad para inhibir la proliferación celular, aparición de tumores, inducir la apoptosis (el cuerpo mismo descarta

células innecesarias) o muerte celular programada, así como de regular la expresión de determinados genes que producen el cáncer. Además, puede estimular el sistema inmune y reducir el riesgo de aparición de enfermedades cardiovasculares.

Saponinas

El Hazzam *et al.* (2020) en su revisión definen las saponinas como un factor anti nutricional en las semillas, que deben ser eliminadas antes de su consumo. Son variados los métodos que se vienen implementando para conseguir su eliminación, entre ellos métodos húmedos, métodos secos y combinaciones de ambos. Recientemente se han desarrollado métodos genéticos.

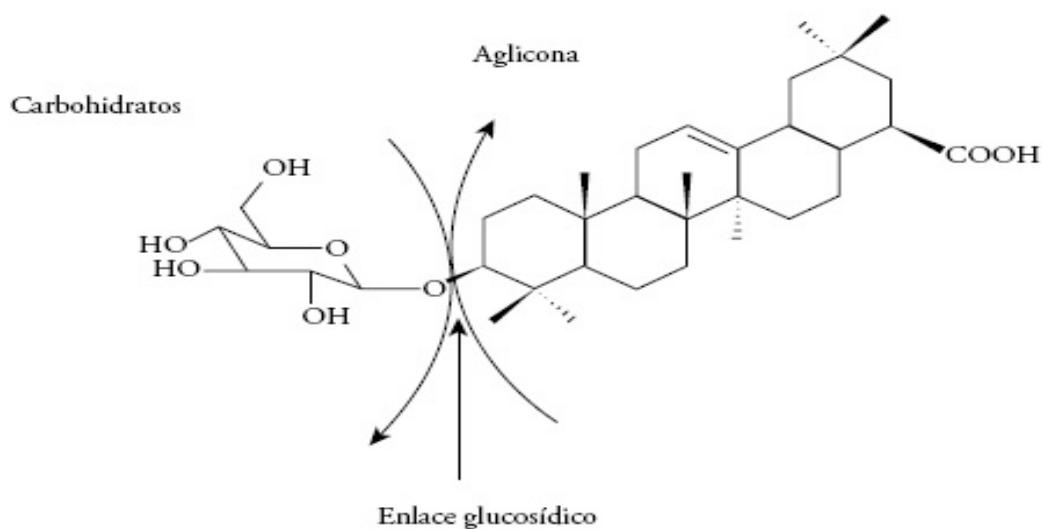
Ahumada *et al.* (2016) se refieren a las saponinas como el principal factor antinutricional de las semillas de quinua. Están presentes en su cáscara y su efecto produce el sabor amargo. De acuerdo a su contenido, se distinguen las variedades dulces (<0,11%) o amargas (>0,11%). Así mismo, esta sustancia se ha detectado en las hojas de la planta (9 g/1000 g) y en menor cantidad en flores y frutos.

De acuerdo a Bonilla *et al.* (2019) las saponinas son metabolitos secundarios que constituyen una amplia familia de compuestos cuyas estructuras están constituidas por un anillo terpenoide o esteroideal, llamado aglicona o sapogenina, sustituidos por oligosacáridos a través de enlaces glucosídicos que les otorga un carácter anfifílico. (contiene en su molécula conjuntamente uno o varios grupos hidrófilos y uno o varios grupos lipófilos) En el mismo contexto Ahumada *et al.* (2016) expresan que, de acuerdo con el número de sustituciones, se encuentran agliconas mono, di o triglicosiladas, también denominadas mono, di o tridesmosídicas. Añade Parra *et al.* (2018), al darse las sustituciones se pueden generar cerca de treinta diferentes saponinas que son construidas mediante la combinación de azúcares y

agliconas presentes en tallos, hojas, semillas, panojas y flores, e influenciadas por las condiciones de suelo y clima. En la Figura No. 5 se puede detallar una estructura general de una saponina.

Figura No. 5

Estructura general de la saponina. Se ubica el enlace glucosídico entre la aglicona y un glucósido



Nota: Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016).

Las saponinas se afectan por los cambios bruscos de pH, así lo afirma Ahumada *et al.* (2016) y agregan, los valores muy ácidos o básicos generan la ruptura de los enlaces O-glucosídicos. Esta característica puede facilitar su cuantificación y estudio químico.

Los mismos autores indican, que las diferentes variedades de quinua se asocian con distintos niveles de saponinas. La Tabla No. 14 detalla el contenido de saponinas de acuerdo a la variedad y a su origen.

Tabla No. 14

Contenido de saponinas de acuerdo a la variedad y a su origen

Origen	Variedad	Contenido (%)	Genotipo
Argentina	Samaja	0,8	Amarga
	N.R.	2,9	Amarga
Bolivia	Real (cascara)	33	Amarga
	Real	2,6	Amarga
	Real	N.R.	Amarga
	Real (cascara)	7	Amarga
	Real	Alto	–
	Camacani	Alto	–
	Chupaca	N.R.	–
	Samaja		Dulce
	Kurni	N.R.	Dulce
	Brasil	BRS- Piabiru	N.R.
Chile	Amarilla ancovinto (linea elite)	Medio	–
	Roja ancovinto (linea elite)	Alto	–
	Regalona baer	Medio	–
	N.R.	10,7 (cascara)	Amarga
		8,0 (semillas)	
		4, (flores)	
		4,0 (frutos)	
	Villarrica	0,002	Dulce
	Regalona	0,003	Dulce
	Ancovito	1,3- 1,7	Amarga
	Cancosa	1,5- 2,4	Amarga
	Cahuil	2,7- 5,0	Amarga
	Faro	1,9- 3,9	Amarga
	Regalona	1,9- 3,9	Amarga
	Villarrica	0,8-0,9	Amarga

China	N.R.	1,2	Amarga
Colombia	Blanca de nariño	0,8-0,9	N.R.
Dinamarca	Olav	1,8 (semilla)	Amarga
		0,3 (sin cascara)	Amarga
		1,8 (germen)	Amarga
Ecuador	Q52	6,1	Amarga
	INIAP Tunkahuan	Bajo	—
	INIAP Pata de venado	Bajo	—
Perú	hualhuas	Bajo	—
	Amarilla de marangani	Alto	—
	Witulla	Medio/alto	—
Rosada de junin (Perú) x real purpura (Bolivia Huncayo (Perú- Bolivia) x samaja (Bolivia)	Huancayo Mantaro	Bajo Alto	— —

Nota: Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469.

Sobre los efectos biológicos de las saponinas, se describen de manera general ya que en los posteriores capítulos se retoma el tema y se trata de manera detallada.

Bojanic (2011) afirma que el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0,06 y 0,12 por ciento.

Ahumada *et al* (2016) dan a conocer que en investigaciones in vitro e in vivo realizadas en ratas se puede evidenciar un incremento en la pérdida de colesterol por secreción fecal de

ácidos biliares, producido por la capacidad de las saponinas de unirse al colesterol de la bilis en el intestino generándose la lisis celular, bloqueando la reabsorción.

La capacidad antibacterial, así como tratamiento del cáncer son otros efectos biológicos de esta sustancia, así lo refieren Parra *et al.* (2018). Además, se le ha reconocido la capacidad del control de plagas y enfermedades principalmente de origen fúngicos.

De otra parte, Philo *et al.* (2017) coincide con El Hazzam *et al.* (2020) en relación a los métodos de eliminación de las saponinas. Además, dice que se puede utilizar el proceso de lixiviación para que su salvado sea retirado ya que es allí donde más se sitúan la mayoría de estas; considera las desventajas de métodos como el húmedo, que presenta inconvenientes económicos por el alto consumo de agua y ecológicos por la contaminación y el método seco por pelado abrasivo, el cual puede generar pérdida de nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales.

Según Han *et al.* (2019) en su estudio muestra que el proceso de molienda es un método eficaz para la eliminación de saponinas de las semillas de quinua mejorando notoriamente su capacidad sensorial. Sin embargo, notaron que la capacidad antioxidante disminuyó significativamente al igual que los compuestos fenólicos, evidenciando que, a mayor proceso de molienda, mayor son sus pérdidas de nutrientes por lo que el mismo autor afirma que la quinua en un proceso de molienda ligera puede tener un equilibrio entre su calidad sensorial y funcional.

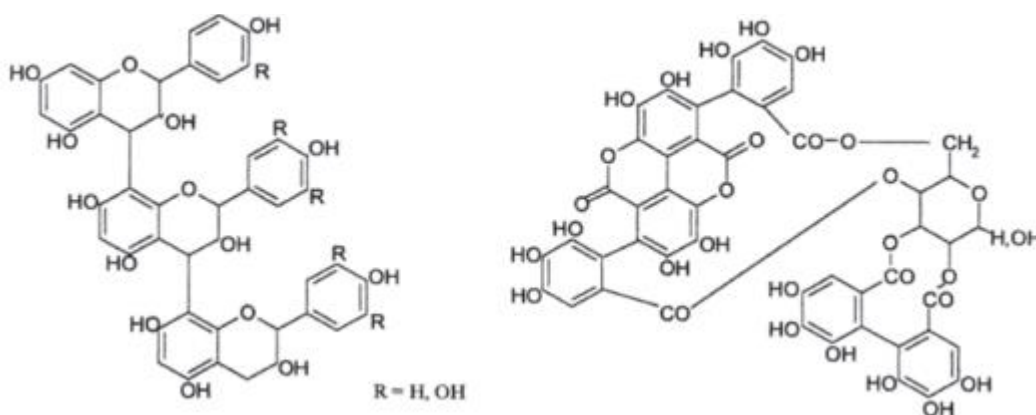
Taninos

Isaza (2007) expone la necesidad de interpretar las características y aplicaciones a nivel molecular de los “taninos” y por ello se debe utilizar un término adecuado: “polifenoles vegetales” para describir estos metabolitos secundarios de plantas superiores. Son solubles en agua, con propiedades astringentes. Gilani *et al.* (2012) afirma en relación a sus pesos

moleculares que pueden oscilar entre 0,5 y 3 kDa. Márquez (2008) se refiere a los taninos, y dice: son moléculas con propiedades para precipitar sustancias como proteínas, ácidos nucleicos, saponinas, alcaloides, carbohidratos, esteroides. Agrega, estas sustancias se encuentran en una considerable proporción en las plantas dicotiledóneas, especialmente en las leguminosas. En la Figura 6 se puede observar la estructura química de los taninos condensados y de los hidrolizados.

Figura No. 6

Estructura Química de los taninos condensados e hidrolizados



Nota: Márquez, D., & Londoño, Á. (2008)

De acuerdo a Isaza (2007) se pueden considerar tres grupos estructurales: proantocianidinas o taninos condensados, son polímeros flavonoides, están los taninos hidrolizables, derivados de los ácidos gálicos y elágico y un grupo menor, los florotaninos los cuales se encuentran especialmente en las algas pardas.

Gilani *et al.* (2012) señala a los taninos condensados como los principales polifenoles presentes en los productos alimenticios de consumo habitual, mientras que las formas hidrolizables sólo están presentes en pequeñas cantidades.

Son considerados compuestos antinutricionales según Mattila *et al.* (2018) pero como compuestos fenólicos pueden tener beneficios para la salud. En cuanto a los efectos adversos de los taninos, según Vázquez *et al.* (2012) estos, pueden ocasionar reducción en la absorción de proteínas y carbohidratos, efectos que se dan por su capacidad de formar complejos con macromoléculas, razón por la cual la ingesta de taninos puede influir negativamente en la salud. Además, se puede producir la interacción con minerales divalentes como el hierro no hemático, inhibiendo la absorción de los metales, aspecto que puede ser motivo de riesgo para personas anémicas y/o vegetarianas. Para Joye *et al.* (2019) los tratamientos térmicos no afectan la concentración de los taninos por lo que es indispensable tratamientos alternativos como el descascarado, remojo, adición de productos químicos y la germinación.

Mattila *et al.* (2018) expresa que los estudios de los taninos condensados relacionados con la quinua son escasos. En su investigación, no hallaron contenido de estos compuestos, coincidiendo con Alvarez-Jubete *et al.* (2010); pero en otras investigaciones, se han encontrado taninos condensados, así lo afirman Chauhan *et al.* 1992; Gorinstein *et al.* 2008. De este mismo modo Arneja *et al.* (2015) asegura: en las semillas de quinua enteras, los taninos están presentes en pequeñas cantidades: 0,53g / 100 g y se reducen, luego de fregar y lavar con agua a 0,23g / 100 g. Maradini *et al.* (2017) relaciona un contenido pequeño de taninos en la quinua, los cuales se reducen de acuerdo a procesos como limpieza y enjuague con agua.

Los taninos, presentan efectos favorables a nivel de la salud, como antidiarreicos, antitumorales, antibacteriales, antivirales e inhibidores de enzimas, agentes hepatoprotectores así lo afirma Isaza (2007) además, son útiles en la industria del vino y la cerveza, te y cacao.

Inhibidores de proteasa

De acuerdo a Cotabarren (2019) los inhibidores de proteasas, son polipéptidos que inhiben la acción de proteasas y se encuentran distribuidos en tejidos de animales, plantas y microorganismos. Un buen número son pequeños péptidos que oscilan entre 15 y 60 aminoácidos, con un considerable contenido de residuos de cisteína que forman puentes disulfuro, permitiéndole resistencia a tratamientos térmicos, pH extremos, fuerza iónica y proteólisis.

Elizalde *et al.* (2009) en relación a los inhibidores de proteasa, expresa: estos, afectan la digestión de las proteínas, impidiendo la acción de las enzimas digestivas; se pueden encontrar en semillas crudas, en los huevos, la leche, los productos lácteos y las papas. En la Tabla 15 se especifica las fuentes animales y las vegetales; estas enzimas contienen relativamente grandes cantidades de aminoácidos azufrados, incluyendo a la metionina. Morales, M. & Troncoso, A. (2012) afirman que la mayoría de inhibidores de proteasa son proteínas solubles, cuyo peso molecular es bajo.

Joye *et al.* (2019) define los inhibidores como proteínas, agrega que son mucho más sensibles a tratamientos de temperatura y condiciones hidrolíticas en el tracto gastrointestinal. Maradini *et al.* (2018) plantea que los inhibidores de proteasa reducen la acción de la tripsina, la cual es responsable de la digestión de proteínas. Morales, M. & Troncoso, A. (2012) recalcan la importancia de la tripsina como enzima digestiva en los seres humanos y afirman que la mayoría de los inhibidores enzimáticos actúan tanto sobre la tripsina, como sobre la quimiotripsina.

Tabla No. 15

Principales fuentes animales y vegetales de inhibidores de proteasas

Principales fuentes animales y vegetales de inhibidores de proteasas	
Fuente animal	Fuentes vegetales
Huevo de gallina	Avena
Leche	Arroz
Calostro	Cacahuete
Páncreas Bovino	Colza
	Garbanzo
	Haba
	Judía
	Maíz
	Patata
	Remolacha Roja
	Soja

Nota: Morales, M y Troncoso, A (2012).

Los autores en mención, indican que otros efectos de estos antinutrientes pueden ser: retraso en el crecimiento, bajo índice en cuanto a la eficacia proteica (disminución de la digestibilidad). Hacen alusión a estudios sobre la afectación del páncreas, evidenciando su hipertrofia. (crecimiento por el aumento del tamaño de sus células). Se pueden generar algunos efectos fisiológicos en animales, pero no se puede precisar lo mismo en humanos.

En su artículo, Elizalde *et al.* (2009) indica que se han identificado diez familias de inhibidores de proteasas, de acuerdo a la secuencia de aminoácidos que las conforman. Dos de las mencionadas por los autores son: las familias Bowman–Birk (actúan uniéndose a la tripsina y quimotripsina), Kunitz (que actúa uniéndose especialmente a la tripsina).

De acuerdo a Morales, M. & Troncoso, A. (2012) la actividad inhibidora se define con enzimas de tipo animal. Un aspecto importante a tener en cuenta al evaluar posibles efectos, es la estabilidad del inhibidor durante el transito que realiza por el estómago. Es así que el inhibidor Kunitz de la soya, se inactiva completamente con el jugo gástrico humano, mientras que el inhibidor Bowman-Birk, siendo de la misma procedencia, no sufre ningún efecto. En cuanto al inhibidor de Kazal del páncreas bovino, por ejemplo, no tiene ningún efecto frente a las enzimas humanas.

Joye *et al.* (2019) afirma que con un tratamiento térmico es suficiente para inactivar este factor antinutricional. Para Elizalde *et al.* (2009), este factor antinutricional puede eliminarse utilizando varios tratamientos térmicos como: germinación y fermentación, los cuales desnaturalizan las proteínas, mejorando su digestibilidad. Sin embargo, estos mismos autores señalan que las temperaturas en exceso pueden afectar el tratamiento, reduciendo aminoácidos disponibles y generando una digestibilidad menor de la proteína.

La quinua y sus compuestos bioactivos

Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) afirma que la quinua además de su composición libre de gluten, es un grano que aporta grandes beneficios, asociados a sus características nutricionales como proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales. A continuación, se examinará en forma detallada sus componentes bioactivos, resaltando los beneficios de este pseudocereales comparados con otros cereales, evidenciando el impacto en la salud humana.

Definición de compuestos bioactivos

El consumo de alimentos como frutas, verduras, aceites, entre otros, son a menudo asociados con la prevención de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad, tal cual lo mencionan autores como: Gámez (2020), Adefegha (2018), Bohn *et al.* (2015) y Colina *et al.* (2015); quienes les atribuyen múltiples beneficios, por el contenido de compuestos bioactivos que tienen este tipo de alimentos.

Los compuestos bioactivos son considerados por Alan (2019) y Tadapaneni *et al.* (2014) como componentes extranutritivos que se encuentran en pequeñas cantidades en los alimentos. Gámez (2020) los relaciona como componentes químicos de origen vegetal o animal los cuales producen un efecto beneficioso para determinada función del organismo, reduciendo un riesgo de enfermedad. Autores como Alan (2019), Gámez (2020) y Herrera *et al.* (2014) señalan que son aquellos compuestos esenciales y no esenciales producidos por la naturaleza y son parte de la cadena alimentaria.

De acuerdo a Gámez (2020), en el reino vegetal se pueden considerar cuatro grandes grupos de compuestos bioactivos: sustancias fenólicas, terpénicas, azufradas, nitrogenadas, las cuales se encuentran en frutas y hortalizas, estableciéndose así una relación entre el consumo de vegetales y una baja incidencia en el desarrollo de enfermedades crónicas. Este efecto

beneficioso de las frutas y hortalizas se le atribuye a un amplio grupo de moléculas químicas orgánicas llamadas fitoquímicos. Para Alan (2019) los fitoquímicos son compuestos no nutritivos que confieren propiedades benéficas para la salud; este mismo autor agrega que estas moléculas se pueden reconocer y categorizar a partir de los extractos de raíces, tallo, corteza, hojas, flores, frutos y semillas. Carbonell *et al.* (2014) también se refiere a que los fitoquímicos son capaces de modular el proceso metabólico, mejorando la salud; generando una acción antioxidante, inhibición o inducción de enzimas, inhibición de las actividades del receptor e inducción e inhibición de la expresión génica.

Según Gil *et al.* (2013), los compuestos naturales de las plantas se dividen en metabolitos primarios y secundarios, partiendo de que los metabolitos primarios son azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y nucleicos, esenciales para su crecimiento y desarrollo. Este mismo autor explica que un metabolito secundario en las plantas, tiene diversas funciones clasificándolas como interacciones planta-microorganismo, planta-insecto, planta-planta y polinización o atracción, entre otras; es decir, que la planta no los utiliza para las funciones básicas. Alan (2019); Gámez (2020) y Renard (2018), definen los compuestos bioactivos como metabolitos secundarios de las plantas que tienen efectos farmacológicos o toxicológicos, considerándolos vitales para el mantenimiento del ser humano. García (2009) resalta la importancia de los metabolitos secundarios en el sector medicinal, alimentario y farmacéutico, siendo estos usados desde la antigüedad para uso medicinal.

En cuanto a la actividad biológica de estos compuestos, Herrera *et al.* (2014) y Gámez (2020) coinciden en afirmar que hay 3 aspectos importantes a diferenciar: las funciones, el papel que juegan; las acciones, las respuestas beneficiosas y/o adversas y las asociaciones o la interrelación de los componentes de los alimentos en función de su finalidad fisiológica. El

contenido de estos compuestos varía de acuerdo al tipo de alimento, Gil *et al.* (2013) plantea que los polifenoles son las sustancias con más alta concentración encontrados en los alimentos. Además, Renard (2018) indica que se encuentra muy frecuentemente concentraciones altas de estos compuestos en subproductos, resultado del procesamiento de frutas y verduras, los cuales se convierten en fuente atractiva para la obtención de bioactivos. (La pulpa y concentrado de tomate, cáscaras de cítricos, pulpa de remolacha azucarera, cáscaras de cebolla son ejemplo de algunos de las fuentes más estudiadas. Cilla *et al.* (2018) enfatiza que el potencial de estos componentes, depende principalmente de la liberación de la matriz, cambios durante la digestión, absorción, metabolismo y biodistribucion, para realizar sus efectos en el cuerpo; los compuestos tienen que estar biodisponibles para ejercer su bioactividad.

Los compuestos bioactivos en la quinua y sus implicaciones

La quinua se destaca por su contenido de componentes bioactivos y los beneficios que se obtienen a través de su consumo. Yichen *et al.* (2018) indican que, los compuestos bioactivos presentes en la quinua, consisten principalmente en compuestos polifenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides y taninos), saponinas, polisacáridos, polipéptidos, ecdisona y ácidos alifáticos, los cuales generan una actividad antioxidante, antidiabética, antihiperlipidemia, antiinflamatoria, potenciadora del sistema inmunológico, actúan en la prevención de enfermedades cardiovasculares y antibacterianas, además de actividades fisiológicas antiulcerosas y enfer

Vega-Gálvez *et al.* (2018) enfatizan en que, junto al suministro de nutrientes, la quinua tiene propiedades las cuales contribuyen a promover la salud y/o a prevenir enfermedades debido a su alto contenido de compuestos bioactivos de naturaleza hidrófila, como ácidos fenólicos y flavonoides, así como isoflavonas y betacianidinas en semillas de quinua coloreadas, siendo estos compuestos los principales responsables de su actividad antioxidante y de su actividad

antimicrobiana. Vega-Gálvez y sus colegas, hacen alusión a estudios anteriores, los cuales han descrito a las semillas de quinua como una fuente excepcional y abundante en ácidos fenólicos, tal como el ácido vainílico, el ácido ferúlico y sus derivados, así como en flavonoles, como la quercetina, el kaempferol y sus glucósidos, ya sea en forma libre, ligada o conjugada. A estos compuestos se les conoce por prevenir diversas enfermedades degenerativas, como la enfermedad coronaria, la aterosclerosis, el cáncer, la diabetes y la enfermedad de Alzheimer, mediante la acción antioxidante y / o la modulación de varias funciones proteicas.

Bernuy *et al.* (2018) se refieren a la relación entre el alto contenido de polifenoles de las variedades de quinua, y los altos niveles de compuestos bioactivos; determinándose que a mayor contenido de polifenoles hay una mayor capacidad antioxidante. A esta conclusión llegan luego de su investigación, cuyo objetivo fue determinar la influencia del consumo de tres variedades de quinua (Altiplano, Pasankalla y Negra Collana) con relación a la acumulación del tejido adiposo y actividad antioxidante en tejidos de ratas obesas. Expresan los mismos autores, la importancia de conocer la capacidad y actividad antioxidante de los alimentos, ya que pueden hacer parte de la dieta en la prevención de factores de riesgo de enfermedades crónicas en seres humanos.

En su investigación Pereira *et al.* (2020), evaluaron la composición fenólica de los granos de quinua negra, roja y blanca, determinando un alto contenido fenólico, especialmente en flavonoides, con un alto potencial de beneficios para la salud humana. Otro aspecto a resaltar es la ausencia de toxicidad en la semilla, lo que la hace un alimento seguro para su consumo diario. Además, al realizar los ensayos de actividad antimicrobiana dieron valores muy prometedores, considerando la alta capacidad antibacteriana y antifúngica de los extractos de quinua. Con relación a la cantidad de ensayos clínicos en animales y humanos sobre el potencial terapéutico

de la quinua Graf *et al.* (2015) afirma que es limitado, aunque en varios estudios se exponen los beneficios asociados con el consumo de quinua, estos se representan en la Tabla No. 16.

Tabla No. 16

Evidencia clínica de los beneficios para la salud de los productos derivados de la quinua.

Aspecto Terapéutico	Participantes Del Estudio Y Ubicación	Tratamiento	Criterios De Valoración (Medidos Antes Y Después Intervención) Resultados	Conclusiones	Referencias
Crecimiento y desarrollo infantil	Niños de 50 a 65 meses de familias de bajos ingresos en Ecuador	Alimentos para lactantes formulados a partir de quinua (100g x2/d durante 15 días) en comparación con ningún tratamiento	Niveles plasmáticos	Los alimentos infantiles a base de quinua pueden desempeñar un papel en la reducción de la desnutrición infantil	Rúales y otros 2002
Enfermedad celiaca	19 pacientes celíacos	Quinua cocida (durante 6 semanas)	Todos los parámetros gastrointestinales (altura de las vellosidades: profundidad de la cripta) altura de las células de la superficie del enterocito, número de linfocitos intraepiteliales por 100 enterocitos) mejoraron después de la dieta de quinua; los niveles de lípidos en suero se mantuvieron normales con una pequeña disminución en el colesterol total, LDL, HDL y triglicéridos	La quinua es segura para el consumo de pacientes celíacos.	Zevallos y otros 2014
Riesgos de enfermedad cardiovascular	22 estudiantes de 18 a 45 años	Barrita de cereal de quinua al día durante 30 días	Triglicéridos, colesterol, LDI	La ingesta de quinua puede reducir el riesgo de desarrollar Enfermedades cardiovasculares	Farinazzi - Machado y otros 2012

Síntomas posmenopáusicos	35 mujeres posmenopáusicas con exceso de peso (menopausal durante +- 2 años, circunferencia de la cintura menor 80cm, estradiol sérico 10-20pg/ml hormona estimulante del folículo menor igual 35 mUI/ml, que no han recibido terapia hormonal ni suplementos de isoflavonas en los últimos 6 meses, no ha tomado medicamentos para reducir los lípidos en las últimas 2 semanas)	Hojuelas de quinua en comparación con hojuelas de maíz (CF) 25g/d durante 4 semanas	El consumo de quinua aumento la ingesta de proteínas y fibra, pero no la ingesta calorías total; triglicéridos; TBARS; colesterol; LDL; GSH	La ingesta de quinua modula beneficiosamente los parámetros metabólicos	De Carvalho y otros 2014
--------------------------	---	---	---	---	--------------------------

Nota: Graf, BL, Rojas - Silva, P., Rojo, LE, Delatorre - Herrera, J., Baldeón, ME y Raskin, I. (2015),

Graf *et al.* (2015) indican que con el consumo de una sola porción de quinua (40 g aproximadamente) se le proporciona al organismo una considerable parte de la cantidad diaria recomendada (RDA) de nutrientes fundamentales y compuestos importantes para la salud. Pereira *et al.* (2020) resaltan el papel de la quinua en la lucha contra la desnutrición en los países en desarrollo y agrega que se considera una opción ideal para vegetarianos, atletas, personas de edad avanzada, alérgicos al gluten. Además de sus propiedades bioactivas, presenta bajo contenido de humedad siendo útil en la conservación de productos. En la misma línea Yichen *et al.* (2018) expresa que, a partir del análisis de sus nutrientes, este pseudocereal, muestra una nutrición equilibrada, mejora las funciones corporales, repara la condición física, regula la inmunidad y la función endocrina, mejora el estrés corporal, tiene efectos anticancerígenos, contribuye al adelgazamiento; es un alimento apto para todas las personas, desde lactantes, embarazadas, niños, estudiantes y ancianos.

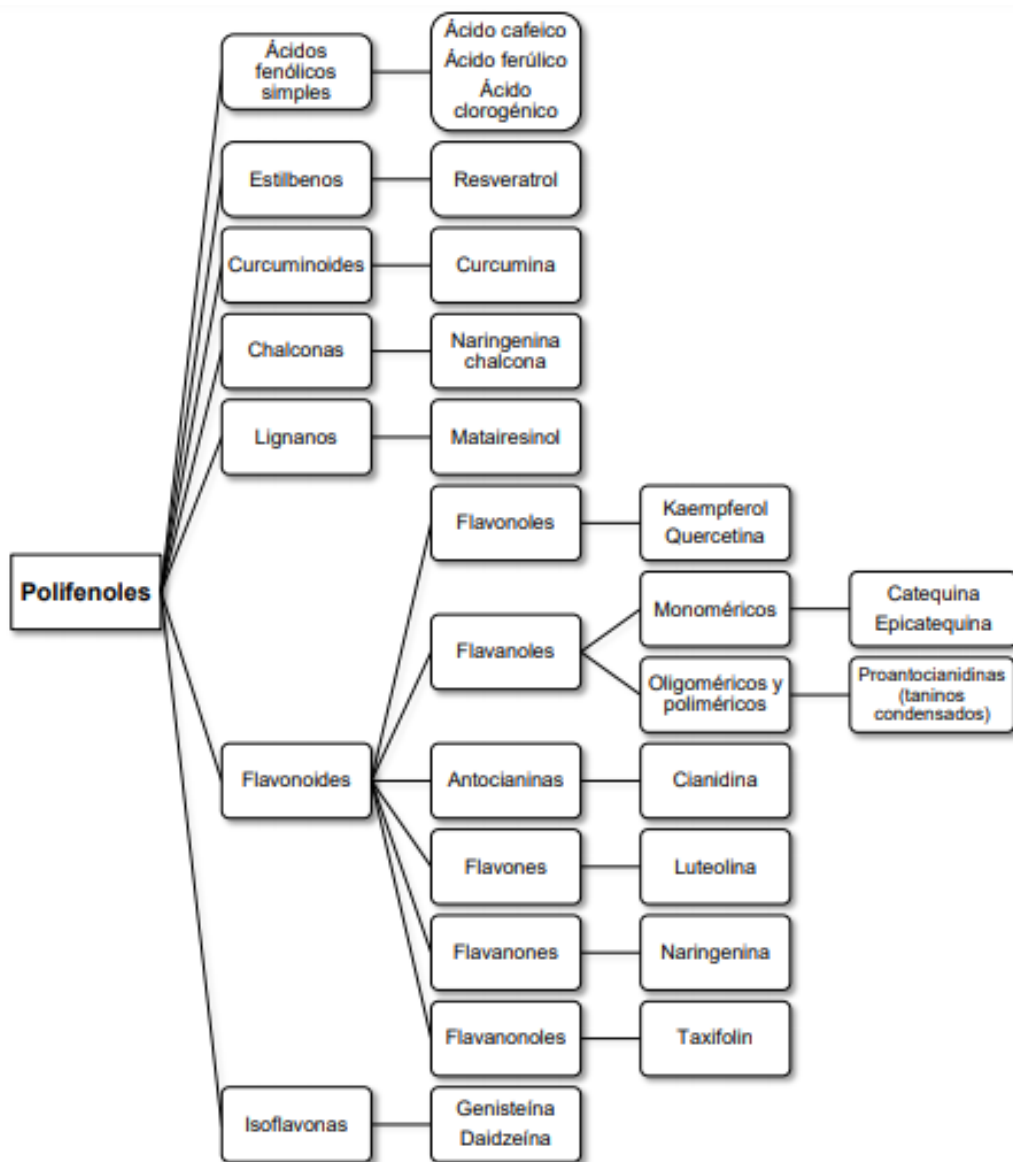
Los polifenoles y la quinua

Los polifenoles, de acuerdo a Quiñones *et al.* 2012, son compuestos con una estructura molecular que se caracteriza por la presencia de uno o varios anillos fenólicos. Hay varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de sus elementos estructurales. Los autores en mención, agregan que estos compuestos se originan principalmente en las plantas, sintetizándolos en gran cantidad, fruto de su metabolismo secundario; varios de ellos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales, otros participan en funciones de defensa ante situaciones de estrés o estímulos (hídrico, luminoso, etc.). Con relación a las sustancias fenólicas presentes en los vegetales, Gámez (2020) expresa que estos han sido unos de los compuestos bioactivos más estudiados, habiendo logrado identificarse más de 8.000 compuestos divididos en varias subclases. La figura No. 7 enseña la

clasificación de varios de los compuestos fenólicos. A lo largo del desarrollo de este documento y de acuerdo con enfoque definido, se estarán analizando los compuestos que se consideran claves para el mismo.

Figura No. 7

Clasificación de los compuestos fenólicos.



Nota: Domínguez (2013)

La figura No. 8 detalla la estructura química del fenol, molécula básica de los compuestos fenólicos. Consta de un anillo aromático (fenil) unido a un grupo hidroxilo (OH). Así lo explica Peñarrieta et al. (2014), y agrega que, la presencia del anillo aromático influye de manera importante en las propiedades antioxidantes.

Figura No. 8

Estructura química del fenol



Nota: Peñarrieta, J. Mauricio; Tejeda, Leslie; Mollinedo, Patricia; Vila, José L.; Bravo, José A (2014)

Los principales polifenoles son los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos, que actúan como potentes antioxidantes in vitro, así lo asegura Repo-Carrasco *et al.* 2010 y agrega que estos compuestos pueden contribuir al amargor, la astringencia, el color, el sabor en los alimentos y la estabilidad oxidativa de los productos.

Los ácidos fenólicos simples y los flavonoides son los más comunes, de acuerdo con Acosta *et al.* (2014). Agregan, los ácidos fenólicos se encuentran en la naturaleza principalmente en las formas insolubles o unidas, en cuanto a los flavonoides se presentan como glucósidos con una o varias fracciones de azúcar ligadas a través de un grupo OH (O-glucósidos) o mediante enlaces carbono-carbono (C-glucósidos). Exponen además que, en varios ensayos in vitro, los compuestos fenólicos ligados insolubles han demostrado una capacidad antioxidante mucho mayor en comparación con los compuestos fenólicos conjugados libres y solubles. Acosta et al.

(2014) precisan que, en la mayoría de los cereales integrales, estos compuestos, se encuentran en formas ligadas insolubles, este es el caso de los compuestos fenólicos totales presentes en el maíz, el trigo y el arroz.

Carcea *et al.* (2017) afirma con relación al perfil de compuestos fenólicos, que estos varían de acuerdo a la especie y variedad de plantas; además, se refiere a la cantidad de fenólicos en una planta y su relación con las condiciones de crecimiento. Los compuestos fenólicos determinan variadas funciones en las plantas, tanto en la reproducción, el crecimiento, en los mecanismos de defensa, y en la determinación del color. Se distribuyen en diferentes partes de la planta, principalmente en las partes externas, donde están libres o asociados a varias moléculas como azúcares, carbohidratos, proteínas, lípidos y otros compuestos fenólicos. Zhang *et al.* (2020) expresan, además de sus diferentes estructuras los compuestos fenólicos se encuentran en variadas formas en los organismos vegetales, esto depende de su asociación con la matriz alimentaria, están como ejemplo los ésteres solubles o formas conjugadas y los insolubles unidas en plantas. Los insolubles, se presentan de este modo dentro de la vacuola de la célula vegetal, mientras que los solubles o conjugados se unen covalentemente a azúcares y otros componentes de baja masa molecular como los ácidos grasos.

Con respecto a la quinua y sus compuestos fenólicos, Alasalvar *et al.* (2021) han realizado numerosos estudios para identificar varias clases de compuestos bioactivos, incluidos los polifenoles en semillas especiales como la quinua, el comino negro, la chía, el cáñamo, el lino, la perilla, la calabaza, y el sésamo. Alasalvar *et al.* (2021) expresan que estas, han sido recomendadas como parte de una selección de alimentos saludables con base en las pautas dietéticas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Departamento de Salud y Servicios humanos, 2015.

Con relación a la quinua, Vega-Gálvez *et al.* (2018), explica que, además del suministro de nutrientes este pseudocereal posee propiedades que contribuyen a mantener la salud y a prevenir enfermedades, debido a su considerable contenido de compuestos bioactivos de carácter hidrófilo, tales como ácidos fenólicos y flavonoides, isoflavonas -daidzeína y genisteína- y betacianidinas -betanina e isobetanina- en semillas de quinua coloreadas. Y cuyos compuestos son los principales responsables de su actividad antioxidante.

Liu *et al.* (2020) afirma, se ha comprobado que existen diferencias significativas en el contenido de fenoles ligados entre las distintas variedades de quinua, mientras que su contenido de fenoles libres muestra una diferencia relativamente pequeña. Al mismo tiempo, los fenoles ligados demostraron mayor capacidad para eliminar los radicales libres DPPH y ABTS que los fenólicos libres.

Los mismos autores indican que las semillas de quinua tienen colores variados, pueden ser de color blanco, rojo y negro. Los perfiles fenólicos y su actividad antioxidante son diferentes y varían de acuerdo a su color. Se ha informado que las semillas de quinua más oscuras como la quinua negra, muestra un mayor contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante que la blanca. El contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides de la quinua roja, resultó mayor que el de la quinua blanca. Aunque los fenoles ligados de la quinua blanca mostraron una mayor capacidad de barrido de radicales DPPH y ABTS que la roja.

Alasalvar *et al.* (2021) se refiere a la quinua y su diversidad de perfiles fenólicos, flavan-3-oles, flavanonas, flavonas, flavonoles, isoflavonas, ácidos fenólicos, amidas fenólicas y saponinas, betaláínas; subrayan que los ácidos fenólicos, flavonoles y saponinas son los más abundantes. Del mismo modo Yichen *et al.* (2018) hace énfasis en el contenido de polifenoles totales en la quinua, asegurando que es mayor que el del trigo, la cebada y el mijo. Yichen y sus

colaboradores, afirman que las variedades de quinua, las condiciones de cultivo, las técnicas de siembra pueden tener efecto sobre el contenido de polifenoles totales y los tipos de ácidos fenólicos, además los métodos de medición pueden influir en las diferencias de los resultados de las pruebas.

Contenido de compuestos fenólicos en la quinua

El contenido de compuestos fenólicos ha sido estudiado por varios autores, los cuales, a través de investigaciones exhaustivas, lograron obtener diversos contenidos de estos compuestos en la semilla de quinua. El objetivo de Abderrahim *et al.* (2015) fue explorar los contenidos de compuestos fenólicos (CP) y su capacidad antioxidante (CTA) de semillas de quinua roja, de acuerdo con sus características físicas. Estos autores evaluaron 13 variedades de quinua, obteniendo contenidos altos de compuestos fenólicos totales (CPT) 7,07 mg ácido gálico (GAE)/g para la variedad Pasankalla, siendo uno de los contenidos más altos encontrados según los autores investigados. Hemalatha *et al.* (2015) evaluó las distribuciones de compuestos fenólicos en diferentes fracciones de quinua. En su proceso, encontraron contenido de CPT en el grano entero 2,74 mg ácido ferulico (AF)/g, grano molido 1,92 mg AF/g, salvado 4,29 mg AF/g y descascarado 3,2 mg AF/g, variedad blanca, evidenciando una reducción del 29,9% entre grano entero y grano molido; estos mismos autores relacionan una menor pérdida de contenido de compuestos fenólicos en el procesos de molienda, en comparación a cereales como el trigo y la cebada, citando datos de autores como Liyana-Pathirana, *et al.* (2006) y Madhujith, *et al.* (2006) con pérdidas entre el 42,5% al 72,5% para el trigo y 69,7 al 90,7% para la cebada perlada, respectivamente.

De igual forma, Vega-Galvez *et al.* (2018) y Vidaurre *et al.* (2017) determinaron contenidos de compuestos fenólicos de CFT (1,94mg GAE/g Cahuil[#] y 1,42mg GAE/g Negra

Collana) respectivamente; su principal objetivo fue determinar los compuestos fenólicos en la quinua. Por otro lado, Hang *et al.* (2019) relacionan el contenido encontrado en su investigación de 3,08 mg GAE/g en la variedad roja.

Abderrahim *et al.* (2015) encuentra cierta similitud de contenidos y de conceptos por parte de varios autores, con resultados como CPT libres (1,23 y 3,41mg GAE/g) de Abderrahim *et al.* (2015) estos, comparables con los de Tang *et al.* (2015) (4,2mg GAE/g) y de CF ligados de 1,28 a 4,52 mg GAE/g semejantes a los de Repo-Carrasco *et al.* (2010) 0,6 a 1,6mg GAE/g.

Los autores anteriores describen los flavonoides como compuestos excepcionales en la semilla de quinua por su abundante contenido de flavonoles como la quercetina y kaempferol, con un contenido de 2,15mg equivalente de quercetina (QE)/g para Abderrahim *et al.* (2015) y 2,5mg QE/g para Repo- Carrasco *et al.* (2010). Autores como Hang *et al.* (2019), Hemalatha *et al.* (2015), Tang *et al.* (2015) Caravaca *et al.* (2012) coinciden con este mismo concepto de los flavonoides. Hemalatha *et al.* (2015) detecto contenido de flavonoides, 4 flavonoles (quercetina, kaempferol, miricetina y rutina) y dos flavonas (luteolina y apigenin), una isoflavona (daidzeina) una flavonoa (naringenina), flavan-3-ol (catechin). Los flavonoides que predominaron fueron la quercetina y glucósido rutina con pequeñas fracciones de kaempferol, apigenina y miricetina.

Los ácidos fenólicos en la quinua son abundantes según Hemalatha *et al.* (2015) señalando el contenido obtenido de los ácidos fenólicos en la quinua de 7,8mg/g, siendo el ácido vainílico y el ácido ferulico predominantes en el grano entero y sus derivados.

Con respecto a la betalaínas autores como Abderrahim *et al.* (2015) expresan un contenido de 4,57mg/100g y Vidaurre *et al.* (2017) un contenido de 0,17mg/100g, (expresado en la suma de las betacianinas y betaxantinas), en donde se observa una diferencia significativa, atribuyéndola Vidaurre *et al.* (2015) a que su proceso de extracción no fue el óptimo para la

identificación y cuantificación de este compuesto. Por otro lado, Tang *et al.* (2015) identificaron betacianinas en la quinua, las cuales fueron responsables de la pigmentación para las quinuas oscuras mencionando que no son las antocianinas como otros autores la señalan.

Hemalatha *et al.* (2015) logra identificar taninos condensados obteniendo un contenido de 1,9mg CE/g, los cuales observaron una disminución de contenido del 55,8% del grano molido en comparación del grano entero.

A continuación, se relaciona en la Tabla No. 17 los contenidos de compuestos fenólicos en la quinua de acuerdo con investigaciones de diversos autores como Abderrahim *et al.* (2015); Hemalatha *et al.* (2015); Vidaurre *et al.* (2017); Han *et al.* (2019) y Vega-Galvez *et al.* (2018). Se agrega el contenido de capacidad antioxidante encontrado en sus análisis.

Tabla No. 17*Contenido de compuestos fenólicos en la quinua, de acuerdo a cada autor*

Compuestos bioactivos	Abderrahim et al. (2015)	Hemalatha et al. (2015)	Vidaurre et al. (2017)	Vega- Galvez et al. (2018)	Han et al. (2019)
Compuestos fenólicos totales mg GAE/g	7,07	2,74*	1,42	1,94	3,08
Flavonoides totales mg QE/g	2,15 ^o	1,82	0,603	2,11	3,07
Ácidos fenólicos mg/g		7,8			8,72
Betalainas mg/100g	4,57		0,17		
Taninos mg CE/g		1,9			
Saponinas mg OAE/g					12,24
Actividad antioxidante mmol TE/100g	33,6 ^a	14,7 ^{bc}	2,5 ^d	41,9 ^e	7,048 ^{ef}
Variedad de quinua	Colorada Pasankalla	Blanca	Negra collana	Cahuil [#]	Roja

Nota: ^a datos obtenidos mediante el método Cuprac; ^o contenido de flavonoles totales; * datos expresados como mg de ácido ferulico/g; ^{bc} datos obtenidos mediante el método DPPH y unidades expresadas en ug/ml; ^c DPPH; ^e datos obtenidos mediante el método de ORAC; ^{ef} ORAC unidades expresadas en mmol TE/g; [#] zona de recolección de muestra; [&] grupo de muestra de cultivo dané.

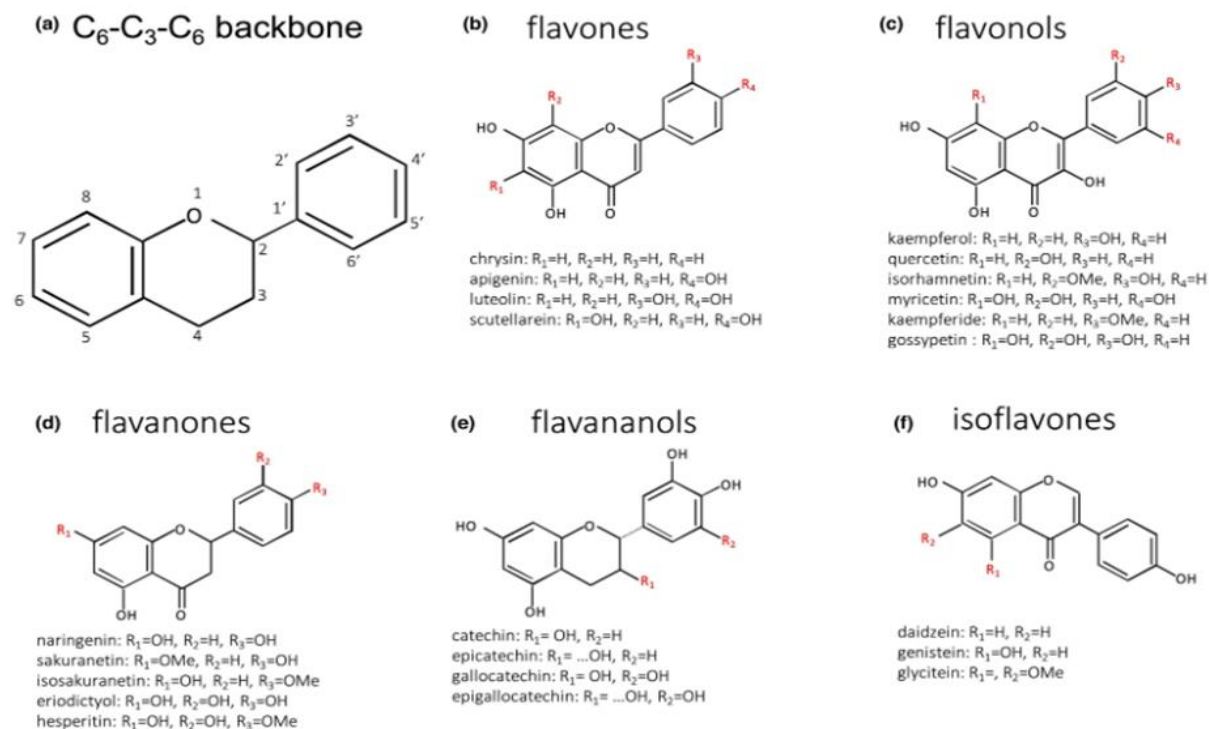
Flavonoides

Quiñones *et al.* (2012) se refiere a los flavonoides, como un derivado del latín "flavus" que significa color amarillo, constituyendo la subclase de polifenoles más abundantes del reino vegetal; se caracterizan por ser de bajo peso molecular. Son los responsables del color de flores y frutas, indicando que se encuentran de forma abundante en uvas, manzanas, cebollas, cerezas, repollos, como también en las hojas de ginkgo biloba y en el té verde.

Leguía (2018) con relación a la estructura química de los flavonoides, explica que comparten el esqueleto común de difenil piranos; se componen de dos grupos fenilo (A y B) unidos por un puente de tres carbonos, conformando un anillo heterocíclico oxigenado (anillo C), resultando así un esqueleto carbonado C6-C3-C6. Los átomos de carbono en los anillos C y A se cuentan del 3 al 8, y en el anillo B se numeran del 2 al 6. Esta estructura se puede detallar en la Figura No. 9. El número y la posición de los grupos hidroxilo y las siguientes adiciones de anillos aromáticos determinarán la mayor parte de sus propiedades.

Figura No. 9

Estructura principal de los flavonoides (b) Flavonas (c) Flavonoles (d) Flavanonas (e) Flavanoles (f) Isoflavonas.



Nota: Weiwei Wen, Saleh Alseekh, Alisdair R Fernie (2020)

Existen varios subgrupos de flavonoides, así lo indica Quiñones *et al.* (2012) y sobre su clasificación agrega, que se hace en función del estado de oxidación del anillo heterocíclico (anillo C), como también, de la posición del anillo B. En cada familia hay una gran variedad de compuestos, que se diferencian unos y otros, por el número y la posición de los grupos hidroxilos, y por los distintos grupos funcionales tales como metilos, azúcares, ácidos orgánicos. Los mismos autores explican que los principales subgrupos de compuestos flavonoides son: flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, antocianidinas y flavanoles. Sus estructuras se observan en la Fig. 9. En la actualidad dice Perea (2013), han sido identificados más de 5.000

flavonoides en la naturaleza, encontrándose por lo general distribuidos como glicosidos, pero también se pueden encontrar como agliconas. En el grupo de los flavonoides, se destacan el kaempferol y la quercetina. Sobre esta última, Vicente *et al.* (2013) expone en su revisión, la relación entre las propiedades beneficiosas de la quercetina y su estructura química, la cual, le confiere propiedades antioxidantes, generando una acción protectora frente a las especies reactivas de oxígeno, por medio de la neutralización de radicales libres.

Yichen *et al.* (2018) hace referencia a los estudios realizados por Zhu *et al.* (2001) y Hirose *et al.* (2010) para determinar el contenido de flavonoides en la quinua. Teniendo en cuenta los resultados se concluye que, la quinua es rica en quercetina y kaempferol, además en cuanto al contenido de quercetina en variedades japoneses, se evidencia que es superior respecto a la quinua y al trigo sarraceno de América del Sur, calculando en $150\sim 225\mu\text{mol } 100\text{g}^{-1}$ su contenido. Además, afirman que su peso fresco es más o menos 3 veces el contenido de quercetina de otras variedades ($52,3\sim 71,0\mu\text{mol } 100\text{g}^{-1}$ de peso fresco). Respecto al contenido de flavonoides, ($36,2$ a $72,6\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) es más alto, en comparación al trigo, la cebada y la avena, siendo su contenido medio de $174\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ aportan la cifra promedio de quercetina y kaempferol en $36\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ y $20\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ respectivamente.

Valencia *et al.* (2017), estudiaron 24 variedades de quinua peruana. Al evaluar los flavonoides, encontraron contenidos que van desde 0,119 equivalentes mg de catequina/g hasta 1,029 equivalentes mg de catequina/g. Se observan diferencias importantes en estas muestras propias del Altiplano peruano, con diversas características genéticas que definen sus componentes activos. Explican Valencia y sus colegas que en investigación realizada por Tang *et al.* (2015), de los ecotipos de quinua blanca, roja y negra de Canadá, se determinaron valores que estuvieron cerca a los 0,5 equivalentes miligramo de catequina/g para las fracciones de FP

(fenólicos libres) y BHP (fenólicos hidrolizables en medio básico), y señalan, que estos contenidos coinciden con lo investigado para los 24 ecotipos de color blanco. Y con respecto a las variedades roja y negra, presentaron contenidos superiores, para las fracciones de fenólicos libres y BHP (cercaos a 1,5 equivalentes mg de catequina/g muestra). Valencia *et al.* (2017) se refieren a la investigación de Repo-Carrasco (2008) relacionada con los flavonoides y otros compuestos fenólicos en granos andinos, entre ellos la quinua, en la cual, encontraron valores entre 0,362 y 1,443 mg/g, evidenciando la presencia de los flavonoides quercetina, kaempferol, miricetina e isorhamnetina.

Los flavonoides representan los compuestos fenólicos más abundantes en la quinua, así lo asegura, Hernández Ledesma (2019) y agrega, están constituidos principalmente por derivados de quercetina y kaempferol, con un promedio de compuestos individuales de 0,84 mg/g peso seco. La tabla No.18 muestra varios de los flavonoides y su contenido. Los datos están tomados de Padrón *et al.* (2014), basados en Pasko *et al* (2008); Repo Carrasco-Valencia *et al.* (2010a)

Tabla No. 18

Contenido de flavonoides en la quinua.

Flavonoide	Contenido	Unidad de medida	Referencia bibliográfica
Miricetina	0,22- 1,24 en 7 de 10 muestras	(mg/100 g)	Repo Carrasco-
Quercetina	11,6-55,5 en las 10 muestras		Valencia <i>et al.</i> (2010a)
Kaempferol	0,45-54,2 en las 10 muestras		*
Isohamnetina o isorhamnetina	0,89- 2,08 en 3 de 10 muestras		
Rutina	360	mg/kg	Paško <i>et</i>
Orientina	1076	(base seca)	<i>al.</i> (2008) valores en
Vitexina	709		
Morina	88,9		* *
Hesperidina	1,86		
Neohesperidina	1,93		

Nota: Tabla de elaboración propia, basada en los datos aportados por Padrón *et al.* (2014)

*los datos corresponden 6 ecotipos, 2 variedades y 2 muestras comerciales de semillas de quinua.

** determinaron isovitexina, pero en brotes germinados

Alasalvar *et al.* (2021) cita la investigación realizada por Rocchetti y col.(2019) y en la cual se identificaron 191 flavonoides en la quinua, incluidas las antocianinas, flavonoides, y quercetina. Leguía (2018) afirma, que las semillas de quinua son una fuente abundante de flavonoides, principalmente glicósidos de los flavonoles quercetina y kaempferol, aunque

también se ha detectado epicatequina y glicósidos de miricetina e isorhamnetina en algunas variedades.

Graf *et al.* (2015) investigaron la determinación de los contenidos de glucósidos de flavonoides en 17 variedades de quinua, cultivadas en tierras altas y bajas chilenas, bajo las mismas condiciones, encontrando que los contenidos fueron mucho más altos en tierras altas; concluyendo así, que el contenido de glucósidos de flavonoides en la quinua puede ser regulado genotípicamente.

Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos consisten en dos grupos, así lo informa Peñarrieta *et al.* (2014), los ácidos hidroxibenzoicos y los ácidos hidroxicinámicos. Es importante recalcar que la presencia de más de un grupo hidroxilo y una mayor separación del grupo carbonilo al anillo aromático aumentan la capacidad antioxidante de estos compuestos. Por ejemplo, los ácidos hidroxicinámicos son más efectivos en términos de la actividad antioxidante que los ácidos hidroxibenzoicos. Afirma Perea (2013), que en el primer grupo se incluyen el ácido gálico, p-hidroxibenzoico, vainílico, entre otros; en el segundo, están el ácido cumárico, el cafeico y el ferulico. Los ácidos fenólicos se encuentran especialmente en la capa externa de los granos, así lo indica la misma autora, y se desarrollan en muchos de los alimentos vegetales, en sus raíces, tallos, hojas, semillas; se relacionan con funciones variadas, tales como fotosíntesis, absorción de nutrientes, actividad enzimática, síntesis de proteínas.

Peñarrieta *et al.* (2014) con relación a los ácidos hidroxibenzoicos explica, estos son compuestos que tienen un grupo carboxílico (grupo ácido) y uno o más grupos hidroxilo en un anillo aromático. En la Figura No. 10 se detalla su estructura. Están presentes en alimentos tales como frutas, verduras y cereales. Sobre su actividad biológica, se conoce, por ejemplo, que el

ácido protocatéuico, ha mostrado efectos protectores frente a deterioro del hígado en modelos animales. Sobre los ácidos hidroxicinámicos, estos se caracterizan por tener un grupo $\text{CH} = \text{CH}-\text{COOH}$., el cual reemplaza al grupo COOH presente en los ácidos hidroxibenzoicos. Pueden observarse en la Figura No. 11. Las principales fuentes en los alimentos son las uvas, manzanas, arándanos, espinacas, brócoli, col rizada, el café y los cereales. Además de su capacidad antioxidante, este tipo de ácidos, han mostrado actividad antígenotóxica y antiproliferativa en células.

Figura No. 10

Ácidos hidroxibenzoicos

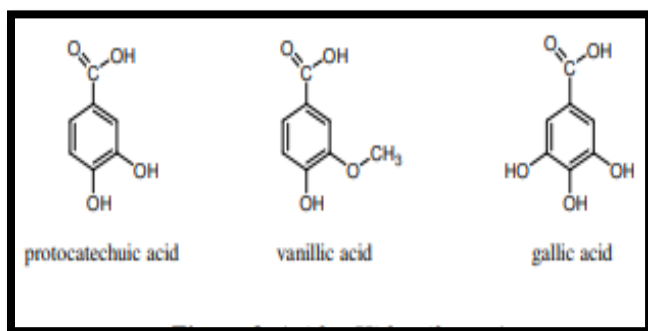
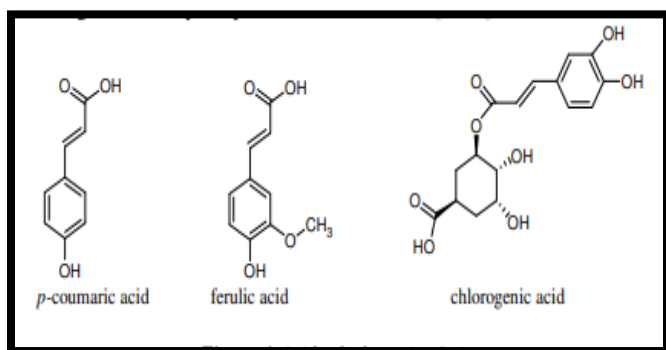


Figura No. 11

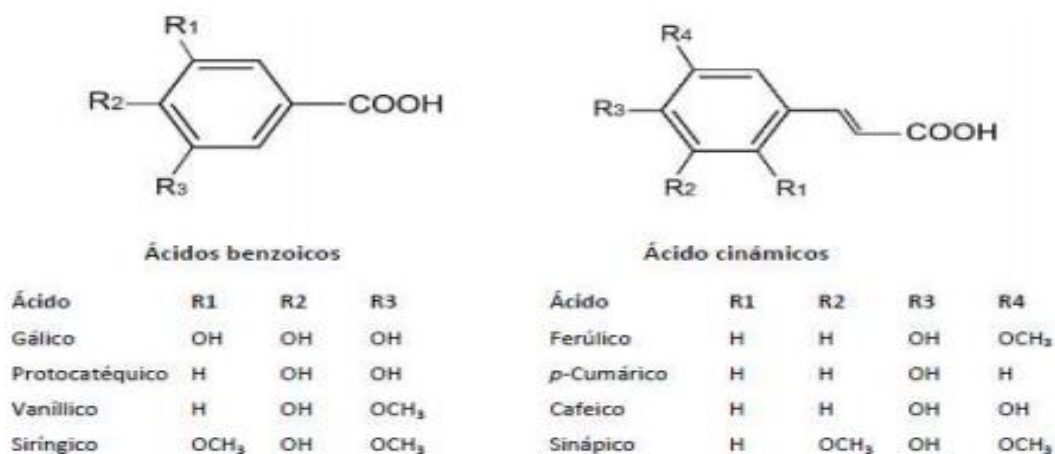
Ácidos hidroxicinámicos



Nota: Peñarrieta, J. Mauricio; Tejeda, Leslie; Mollinedo, Patricia; Vila, José L.; Bravo, José A (2014)

Figura No. 12

Estructura química de los principales ácidos fenólicos



Nota: Leguía (2020).

Álvarez-Jubete *et al.* (2010) se refiere a que en la quinua se encuentran los ácidos fenólicos, tanto los derivados del ácido benzoico, tales como los ácidos p-hidroxibenzoico, 3-4-dihidroxibenzoico, gálico, vainílico y protocatéquico y los derivados del ácido cinámico, entre otros, los ácidos p-cumarico, cafeico, ferúlico, sinápico. Figura No. 11.

Liu *et al.* (2020), en su investigación utilizaron las semillas de quinua de color blanco, rojo y negro, en las cuales encontraron ocho tipos de ácidos fenólicos libres, con un total que fluctúa entre 56,16 y 94,96 µg/g. Se encuentra en la Tabla No. 19. Así mismo, Tang *et al.* (2016) coincidieron en seis de los ácidos fenólicos libres, citados por Liu y sus colegas; pero no encontraron el ácido siríngico ni el sinápico.

Tabla No. 19

Ácidos fenólicos -libres- de la fracción fenólica de la quinua blanca, roja y negra

Ácidos fenólicos (ug/g)	Quinua blanca	Quinua roja	Quinua negra
Ácido protocatéquico	nd	11.59+- 0.14a	9.48+- 0.28b
Ácido p- hidroxibenzoico	7.12+-0.11b	22.47+- 0.32a	6.79+- 0.15b
Ácido vanílico	9.28+-0.30b	3.34+- 0.13c	19.23+- 0.73 ^a
Ácido siríngico	5.78+-0.12b	28.28+- 0.34a	28.68+- 0.94 ^a
Ácido P-cumárico	10.67+- 0.18a	6.92+- 0.11c	8.55+- 0.09b
Ácido ferúlico	10.35+- 0.27b	4.72+- 0.09c	12.17+- 0.62 ^a
Ácido sinápico	3.04+- 0.002b	0.41+- 0.01c	7.17+-0.05 ^a
Ácido isoferúlico	9.88+-0.16a	10.04+- 0.19a	2.90+- 0.02b
Total	56.16+- 1.16c	87.77+- 1.33b	94.96+- 2.88 ^a

Nota: Liu, M., Zhu, K., Yao, Y., Chen, Y., Guo, H., Ren, G., ... & Li, J. (2020)

Los resultados se presentan como media \pm SD (n = 3).

Abreviatura: nd, no detectado.

Los valores con letras diferentes dentro de una misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Liu *et al.* (2020) afirma, el ácido protocatéquico se encontró en la quinua roja y en la negra, pero no en la blanca. La quinua negra mostro la mayor concentración total de ácidos fenólicos libres, seguida de la quinua roja y blanca. Y a su vez, el ácido siríngico, presento el mayor contenido tanto en la quinua roja como en la negra, mientras que el ácido p-cumarico fue el más alto para la quinua blanca, así lo muestra la Tabla 19. Tang *et al.* (2015) y Gao *et al.*

(2016) encontraron que el ácido vainílico era el ácido fenólico libre de mayor contenido en la quinua roja y blanca. Las variedades y el grado de molienda de las semillas, puede ser la razón de la diferencia en las investigaciones sobre el perfil de ácidos fenólicos libres.

En cuanto a los perfiles de ácidos fenólicos ligados se muestran en la Tabla No. 20. El ácido vanílico, ácido p-cumarico, ácido ferúlico y ácido sinápico, se encontraron en todas las muestras.

Tabla No. 20

Ácidos fenólicos -ligados- de la fracción fenólica de la quinua blanca, roja y negra

Ácidos fenólicos (ug/g)	Quinua blanca	Quinua roja	Quinua negra
Ácido protocatéquico	nd	57.93+- 0.43a	57.63+- 0.71 ^a
Ácido p- hidroxibenzoico	1.44+-0.03 ^a	nd	nd
Ácido vanílico	3.52+-3.52+- 0.04a	3.65+- 0.10a	3.07+- 0.48 ^a
Ácido siríngico	nd	nd	Nd
Ácido P-cumárico	6.07+-0.13b	8.53+- 0.12a	4.65+- 0.22c
Ácido ferúlico	11.64+-1.09b	8.28+- 0.16c	20.69+- 1.64 ^a
Ácido sinápico	7.38+-0.57b	11.29+- 0.14a	7.76+- 0.50b
Ácido isoferúlico	nd	nd	Nd
Total	30.05+-1.86b	89.68+- 0.95a	93.80+- 3.55 ^a

Nota: Liu, M., Zhu, K., Yao, Y., Chen, Y., Guo, H., Ren, G., ... & Li, J. (2020).

Los resultados se presentan como media \pm SD (n = 3).

Abreviatura: nd, no detectado.

Los valores con letras diferentes dentro de una misma fila son significativamente diferentes (p < 0,05).

Taninos

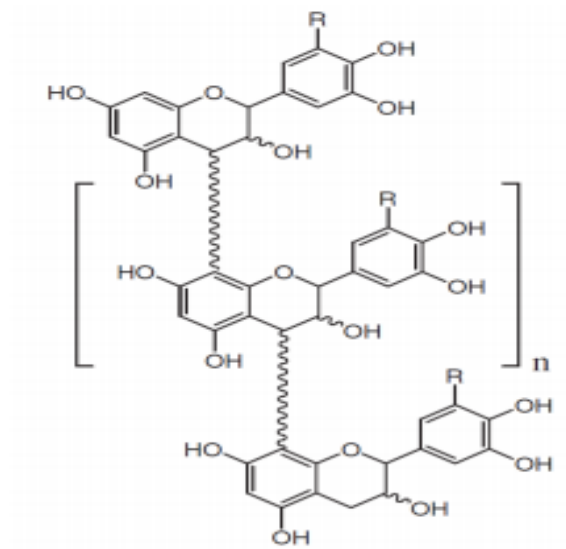
Peñarrieta *et al.* (2014) afirma que, los taninos son diversos compuestos fenólicos que se unen a las proteínas y precipitan. Los taninos se pueden encontrar en hojas, frutos y corteza, por ejemplo, en el roble, el castaño, entre otros. Estos compuestos sirven de protección a las plantas contra las infecciones y los herbívoros. Los taninos vegetales representan del 2 al 7% del peso fresco de la planta, en condiciones normales, así lo indica Vázquez-Flores *et al.* (2012), y precisa, esta cantidad es el total de taninos que contiene el vegetal.

Son compuestos hidrosolubles, explica Perea (2013), y su peso molecular está comprendido entre 300 y 5.000 daltons, siendo capaces de unirse a las proteínas y a otras macromoléculas. Los taninos se clasifican de acuerdo a Vázquez-Flores *et al.* (2012), en dos grupos, según su estructura química: condensados, hidrolizables.

Los taninos condensados, contienen un considerable número de grupos hidroxilos, afirma Perea (2013), los cuales se componen de unidades polimerizadas de flavan-3-ol, catequina y epicatequina. Porras (2009), indica que los taninos condensados se les conoce también como proantocianidinas, de los cuales se han identificado varias subclases; son dos las que tienen importancia en alimentos de origen vegetal para humanos: procianidinas, prodelfinidinas. La Figura No. 13 enseña su estructura química. Consisten en cadenas lineales de flavan-3-ols ligadas vía enlaces C4-C8.

Figura No. 13

Estructura química de taninos condensados



* Procianidinas R=H. Prodelfinidinas R=OH

Nota: Dominguez (2013)

Vázquez-Flores *et al.* (2012) da a conocer que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) creó una base de datos para establecer el tipo y las cantidades de taninos condensados presentes en varios alimentos propios de la dieta americana. En la Tabla No. 21 se detallan. En esta, se evidencia que la presencia de proantocianidinas (taninos condensados) varía de acuerdo a la parte del fruto analizada, siendo abundante, sobre todo, en la piel de uvas y manzanas.

Tabla No. 21

Contenido de taninos condensados en algunos alimentos (USDA, 2004)

Producto alimenticio	Taninos condensados (mg/100g de producto)
Frutas	
Bayas	255+-8.39
Arándanos	233+-49.08

Cereales y leguminosas	
Sorgo	2927+-335.38
Cacao	1568.49+-334
Nueces	
Avellana	322.44+-102.48
Nuez pecanera	223.01+-59.01
Especias	
Canela	2508.78

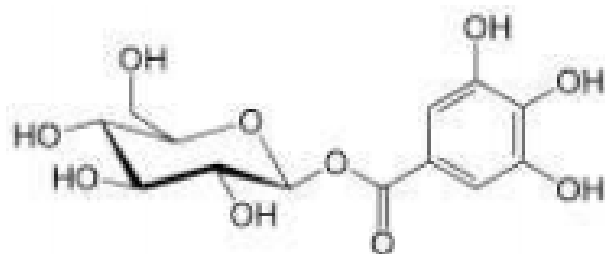
Nota: Vázquez-Flores, A. A., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & Laura, A. (2012).

Los taninos hidrolizables, según Peñarrieta *et al.* (2014, consisten de forma principal en elagitaninos no conjugados, galotaninos y ácido elágico o formas conjugadas del ácido gálico.

En la Figura No. 14 se puede observar su estructura química.

Figura No. 14

Estructura química de taninos hidrolizables –estructuras variadas- (unidades de ácidos gálico o elágico unidos a carbohidratos)



Nota: Vázquez-Flores, A. A., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & Laura, A. (2012).

Olivas-Aguirre *et al.* 2015, afirma, su nombre se refiere a la facilidad para hidrolizarse en presencia de ácidos, bases o enzimas tanto *in vitro* como *in vivo*. La producción en el interior de las plantas llega al máximo, cuando la tasa de crecimiento de estas disminuye. Cumplen funciones de defensa y anti microbianas. Olivas-Aguirre y sus colegas hacen referencia a los alimentos con mayor contenido de taninos hidrolizables (Galotaninos y Elagitaninos) En la Tabla

No. 22, se muestra además la capacidad antioxidante (CAOX) determinada por el método de capacidad de absorción de radicales libres de oxígeno (ORAC).

Tabla No. 22

Alimentos con alto contenidos de taninos hidrolizables (TH)

Fruto	TH	ORAC	Fruto	TH	ORAC
Almendra	GT/E	41	Mango	GT	477
	T	8			
Arándano	GT/E	50	Mora	GT/E	269
	T	3		T	-2016
Frambuesa	ET	41	Nueces	GT/E	145
		4		T	
Fresa	GT/E	33	Uva	ET	
	T	2			
Granada	GT/E	33			
	T	8			

Nota: Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., Rosa, L. A., & Ramos-Jiménez, A. (2015)

Nota: Golatino (GT), elagitaninos (ET), Oxigen radical absorbance capacity (ORAC, un equivalentes de trolox/100g)

Melini y Melini (2021) se refieren a que tanto los taninos como las saponinas son factores antinutricionales, localizados en la quinua. La aceptabilidad limitada en los taninos se debe a que proporcionan un sabor astringente, así lo expresan los mismos autores, agregan, estos compuestos tienen capacidad para limitar la absorción de proteínas y macromoléculas, como el almidón, disminuyendo así el valor nutricional de los alimentos. Pueden afectar además la mucosa intestinal e interferir en la absorción de hierro, glucosa y vitamina B12.

Con relación a los taninos en la quinua Filho *et al.* (2017) expone que, están presentes en pequeñas cantidades (0,53%). Referenciando a Chauhan *et al.* 1992; Jancurová *et al.* 2009 afirman, en la semilla pelada, la cantidad de taninos fue más alta (0,92%), en comparación con el

salvado o la harina. Sin embargo, el salvado contenía entre el 46% y el 50% del total de tanino en la semilla. En su revisión Hernández-Ledesma (2019) cita a Tang *et al.* (2015), quien determino un contenido de taninos del 0,05% para la quinua, cuyo valor es comparable con el del amaranto, pero más alto, al encontrado en el arroz (0,035%) y la soja (0,034%). Así mismo, Arneja *et al.* (2015) afirma, los taninos están presentes en pequeñas cantidades en las semillas enteras de quinua, en promedio de 0,53g/100 g; su reducción se produce después de fregarlas y lavarlas con agua al 0,23g/100 g. Por su parte, Melini y Melini (2021) en su revisión, coincide con Arneja y afirma, es poca la cantidad de taninos en la quinua, en semillas cultivadas en Perú, constatando un total de 0,88 mg Equivalentes de catequina g⁻¹ Indican que, con un procesamiento adecuado se puede reducir su contenido.

Bhinder *et al.* (2021) realizaron estudio con el objetivo de comparar y mejorar el perfil nutricional de la quinua negra y blanca a través del malteado en diferentes períodos de germinación, secado, molienda y tamizado para obtener harina de malta. Al analizar los resultados, refiriéndose a los taninos encontrados, la quinua tuvo un bajo contenido, entre 3,41 y 4,81 mg Equivalente Trolox / 100 g, en harina blanca y negra, respectivamente. En el tiempo de germinación, dicen Bhinder y sus colegas, no se observó disminución de cantidad de taninos. Después del malteado, pasadas 48 horas de germinación se evidencio su aumento en un 1,76% para la variedad blanca. Una disminución considerable del 31,08% se observó para harina de malta de quinua blanca, pasadas 96 h de germinación. Los mismos autores se refieren al aumento del contenido de taninos, exponen que podría deberse a la síntesis de compuestos macromoleculares a partir de compuestos fenólicos como las catequinas. En general, el malteado produjo una reducción significativa de los factores antinutricionales de las harinas de quinua.

Montemurro *et al.* (2019) explica que, en su estudio, las semillas de trigo, cebada, lentejas, garbanzos y quinua fueron germinadas y fermentadas con un grupo seleccionado de bacterias del ácido láctico. Se investigó los efectos de la germinación y fermentación sobre las principales características nutricionales y funcionales de las semillas. En cuanto a los taninos condensados se encontraron en concentraciones inferiores a 0.36 ± 0.02 mg / g en las harinas crudas con la excepción de la harina de lentejas, caracterizada por una concentración 3 veces más alta. De acuerdo a Montemurro y sus colegas, la germinación produjo la disminución de la concentración de taninos condensados, de forma diferente de acuerdo a cada grano. En particular, la harina de lentejas sufrió la mayor disminución (66%), conteniendo, aun así, la mayor cantidad de taninos condensados. Por el contrario, los taninos condensados de la quinua, el garbanzo y la cebada, se vieron afectados mínimamente por la germinación, aunque sus harinas presentaron la concentración más baja. En la Tabla No. 23 se constatan los resultados.

Tabla No. 23

Contenido de taninos condensados, en cinco especies, representativas de las tres categorías principales de cultivos de granos: cereales (trigo y cebada), leguminosas (garbanzos y lentejas), pseudocereales (quinua).

	Harinas crudas*				
	Trigo	Cebada	Garbanzo	Lenteja	Quinua
TANINOS	0,36+-	0,26	0,22+	1,07+	0,28+
CONDENSA DOS (mg/g)	0,02	+0,02	-0,02	- 0,04	-0,02
	Harinas germinadas**				
	0,20+	0,24+-	0,18+	0,47+	0,18+
	-0,01	0,02	- 0,01	-0,02	- 0,01

Nota Fuente: Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2019).

* Harinas crudas (rF); harinas germinadas (sF). Los datos se expresan en peso seco.

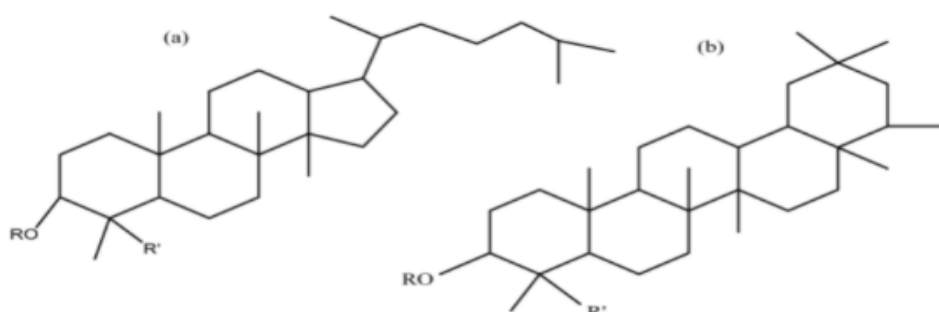
** Los datos son las medias de tres experimentos independientes \pm desviaciones estándar (n = 3).

Saponinas

Hernández-Ledesma (2019) expresa, las saponinas se encuentran fundamentalmente en semillas, hojas, raíces, frutos y tallos. Las plantas las producen para su protección, por posibles daños de microorganismos, aves e insectos. Gallego *et al.* (2014) afirma, las saponinas tienen un peso molecular promedio, entre 600 y 2000 Daltons. Su estructura es compleja, puede dividirse en una aglicona hidrófoba o sapogenina y en una o más cadenas de azúcar hidrófilas. Según la naturaleza de la sapogenina y su estructura, las saponinas pueden ser esteroides (neutras) y triterpenoides (ácidas); en la Figura 15 se puede detallar su estructura química. El Hazzam *et al.* (2020) precisa, las saponinas esteroides se encuentran principalmente en las plantas monocotiledóneas y las triterpénicas, están presentes en las plantas dicotiledóneas, la quinua hace parte de este grupo. Melini & Melini (2021) se refiere en su revisión al perfil de las saponinas y expresa que las agliconas identificadas fueron la hederagenina (HD) (la que predomina en las semillas), el ácido oleanólico (OA), el ácido fitolacagénico (PA), el ácido serjanico. La estructura química de las principales agliconas, se encuentra en la Figura No. 16.

Figura No. 15

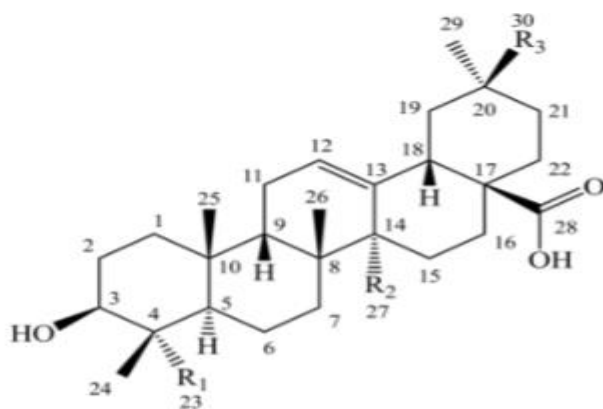
Estructura de saponinas: (a) un esteroide y (b) un triterpenoide



Nota: El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., Kacimi, K. E. L., & Yasri, A. (2020).

Figura No. 16

Estructura química de varias de las agliconas: ácido oleanólico (OA), hederagenina (HD), y el ácido fitocagénico (PA), el ácido serjanico (SA)



Oleanolic acid, $R_1=CH_3$, $R_2=CH_3$, $R_3=CH_3$

Hederagenin, $R_1=CH_2OH$, $R_2=CH_3$, $R_3=CH_3$

Serjanic acid, $R_1=CH_3$, $R_2=CH_3$, $R_3=COOCH_3$

Phytolaccagenic acid, $R_1=CH_2OH$, $R_2=CH_3$, $R_3=COOCH_3$

Nota: Lin, M., Han, P., Li, Y., Wang, W., Lai, D., & Zhou, L. (2019).

Sobre las saponinas en la quinua, El Hazzam *et al.* (2020) explica, son metabolitos secundarios y se encuentran en la capa externa de las semillas. Bhinder *et al.* (2021) precisa, las saponinas en la quinua se concentran de forma principal en su epicarpio. Parra *et al.* (2018)

agrega, las saponinas, son unas de las principales sustancias antinutrientes en este pseudocereal, responsables del amargo en sus granos. Hernández-Ledesma (2019) expresa que este factor anti nutricional se encuentra en forma abundante en la capa exterior de la semilla, por consiguiente, el contenido en genotipos amargos puede variar de 140 a 2300 mg / 100 g de peso seco, mientras que, en genotipos dulces, varían de 20 a 40 mg / 100 g de peso seco. Parra *et al.* (2018) afirma que, el tipo de suelo, la diversidad de climas, las características genéticas de las diferentes variedades son determinantes en el contenido de las saponinas y sus compuestos. Gómez-Caravaca *et al.* (2012) demuestra en su investigación que las muestras cultivadas con un mayor déficit de riego, presentaron una disminución del 45% en saponinas. Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Soliz-Guerrero *et al.* (2002) quienes informaron sobre la influencia del déficit hídrico del suelo en el contenido de saponinas, concluyendo que un déficit de agua promueve un bajo contenido de saponinas. Yichen *et al.* (2018) da a conocer, además, que el contenido de saponina es más bajo en la etapa de ramificación de la planta, con 0,309%, y es más alto en la etapa de floración, presentando el 0,608%.

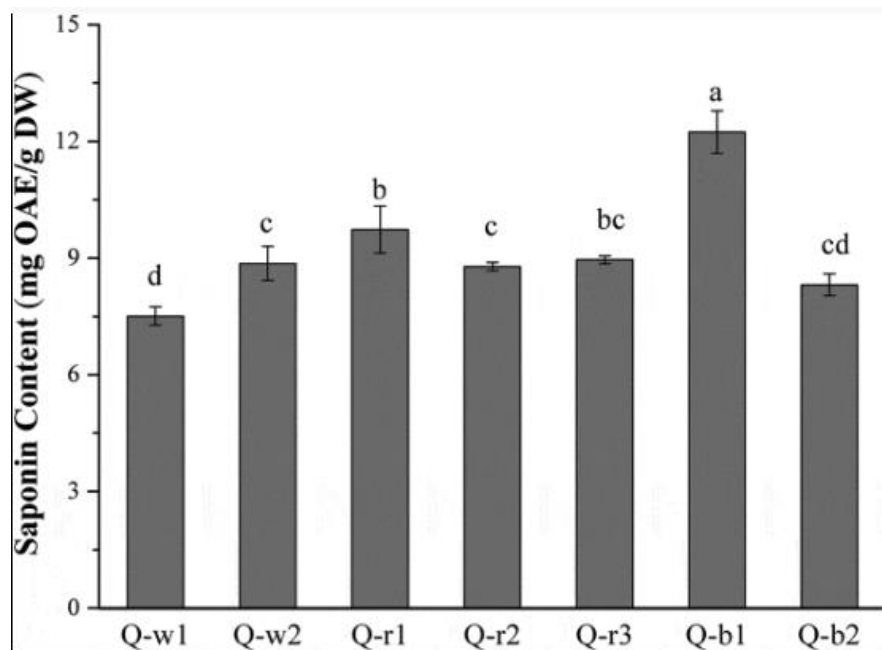
Bhinder *et al.* (2021) señalaron, que el contenido de saponinas en harina de quinua blanca fue de 1,63 mg / g y en la negra de 2,42 mg / g; se refieren al tiempo de germinación y al color del grano como factores que influyen de forma significativa en el contenido de saponinas, evidenciándose su descenso en un 42,94% y 58,26% en la harina de malta de quinua blanca y negra germinadas respectivamente, en el lapso de 96 horas. Además, se señala, que la disminución de las saponinas en las maltas germinadas fue notable durante las primeras 24 horas. Una posible causa de ello, puede ser la solubilidad de las saponinas; al hidratarse los granos, el agua penetra en la masa del grano, produciéndose la liberación de una buena cantidad de saponinas por efecto de la difusión simple.

Lim *et al.* (2020) realizaron un estudio para analizar el contenido de saponinas y sapogeninas, polifenoles, flavonoides y actividades antioxidantes en la quinua cultivada en Corea; tomaron extractos de las semillas y varias partes de la planta, incluidos granos germinados, semillas, salvado, pericarpio, hojas, tallo y raíz. En el salvado de quinua se hallaron las cantidades más altas de ácido oleanólico (OA), hederagenina (HD), y el ácido fitocagénico (PA), mientras que sus hojas y raíces, mostraron los contenidos más bajos. En cuanto al ácido serjanico, los mismos autores reportan una cantidad relativamente baja en comparación con las otras agliconas. Se encontró que las semillas de quinua tienen un contenido mayor de sapogenina, comparado con el tallo, las hojas y las raíces, así lo afirman Lim y sus colegas, precisando que los contenidos de OA, HD y PA en las semillas fueron de 0,301, 0,300 y 1,650 mg / g, respectivamente. La raíz de quinua tuvo la mayor cantidad de saponina total (13.39 g 100 g⁻¹), seguida por el salvado, el tallo, el pericarpio y las hojas.

Han *et al.* (2019) en su investigación, determinó el contenido total de saponina de 7 variedades de quinua coloreada. (Q-w1, Q-r1, Q-r2, Q-b1, Q-w2, Q-r3, Q-b2). Los resultados obtenidos se visualizan en la Gráfica No. 9. Se observan diferencias entre las 7 variedades, que van desde 7.51 (Q-w1) a 12.24 (Q-b1) mg OAE / g DW ($p < 0.05$). Q-b1 presentó el mayor contenido de saponina total, seguido por Q-r1. Q-w1 mostró el contenido de saponina total más bajo. Sin embargo, a nivel estadístico, no se observó una diferencia significativa entre las variedades (Q-r3, Q-w2, Q-r2 y Q-b2) ($p > 0.05$).

Gráfica No. 9

Contenido total de saponina de 7 variedades de quinua coloreada.



Fuente: Yameng Han, Jianwei Chi, Mingwei Zhang, Ruifen Zhang, Sanhong Fan, Fei Huang, Kaming Xue, Lei Liu. (2019)

* El contenido total de saponina de 7 variedades de quinua coloreada. Las barras de error corresponden a la desviación estándar ($n = 3$). Los valores con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). OAE: equivalentes de ácido oleanólico; DW: peso seco

Betalaínas

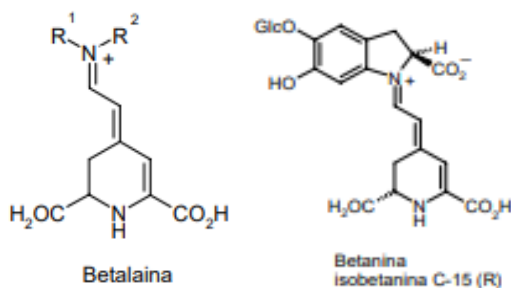
Melini y Melini (2021) definen las betalaínas como pigmentos vegetales, solubles en agua, responsables del color de sus tejidos. Escribano *et al.* (2017) agrega, se dividen en betaxantinas, responsables de la coloración amarilla y las betacianinas que proporcionan la coloración roja, violeta. Melini y Melini (2021) afirman, en pocas plantas se ha logrado su identificación, algunas de ellas son la remolacha (son los principales pigmentos de su raíz), además, en tuna y amaranto.

Escribano *et al.* (2017) se refiere a las betalaínas y los resultados de varias investigaciones en los últimos años, expresando que han mostrado un potencial bioactivo prometedor. A destacar, es la fuerte capacidad captadora de radicales libres de las betalaínas purificadas de la raíz de remolacha. Melini y Melini (2021) al referirse al mismo tema, asegura que las betalaínas tienen una importante actividad de eliminación de radicales libres lo cual les permite generar efectos beneficiosos para la salud.

Sobre las betalaínas y su contenido en la quinua, Abderrahim *et al.* (2015), en su investigación, encontró contenidos de estos pigmentos, los cuales variaron de 0,15 a 6,10 mg / 100 g, correspondiendo a la suma de betacianinas y betaxantinas en semillas de quinua coloreada del Altiplano peruano. Del mismo modo, se confirmó por Abderrahim y sus colegas, la presencia de betalaínas en todas las muestras de quinua coloreada, al comprobar el cambio en el color de rojo a amarillo, luego del tratamiento con hidróxido de sodio. Los mismos autores afirman, además, que la quinua roja y negra cultivada en Canadá contiene betanina e isobetanina en cantidades similares a las encontradas en la raíz de remolacha, una fuente rica en betalaínas, pero no se conocen los datos cuantitativos. La Figura No. 17. muestra la estructura química correspondiente a betalaína, betanina y isobetanina.

Figura No. 17

Estructura química de la betalaína, betanina, isobetanina



Nota: Marañón-Ruiz, V. F., Rizo de la Torre, L. D. C., & Chiu-Zarate, R. (2011).

En su investigación Vidaurre-Ruiz *et al.* (2017), evaluaron dos variedades de quinua (Pasankalla y Negra Collana), de origen peruano. En cuanto al contenido de betacianinas, betaxantinas y betalaínas, este fue mayor en la variedad Negra Collana (0,17 mg/ 100 g), comparado con la variedad Pasankalla (0,13 mg/100 g). Así mismo, luego del proceso de lavado y secado, no se evidenciaron pérdidas significativas de los pigmentos, en cambio luego del proceso de cocción si, definiéndose un contenido final entre 0,04 y 0,06 mg/ 100 g de betalaínas. Aun así, los mismos autores concluyen que el consumo de las dos variedades es importante, al ser una fuente natural de compuestos bioactivos.

Afirma Hernández-Ledesma (2019) que en un estudio reciente se ha logrado identificar en 29 variedades de quinua peruana, nuevas betacianinas y betaxantinas, lo que permite concluir, la estrecha relación entre la presencia de estos pigmentos con la determinación de altas actividades antioxidantes y de eliminación de radicales libres encontrados en los extractos de esta semilla.

Al estudiar el perfil fenólico de la quinua, se puede concluir que es muy diverso, tal como lo menciona Alasalvar *et al.* (2021). En la Tabla No. 24, se puede observar los rangos de contenido de estos compuestos encontrados en investigaciones como las de Abderrahim *et al.* (2015), Hemalatha *et al.* (2016), Gómez - Caravaca *et al.* (2012), Pellegrini *et al.* (2017) Han *et al.* (2019); dando a conocer el contenido de sus ácidos fenólicos, flavonoides, Betalaínas y saponinas, siendo los ácidos fenólicos, flavonoles y las saponinas los compuestos más abundantes.

Tabla No. 24

Polifenoles en la semilla de quinua

Compuestos fenólicos		Unidad	Contenido	Referencias
Betalaína	Betacianina	mg/100g	0,2 hasta 5,2	Abderrah im y col. (2015), Hemalatha et al. (2016), Gómez - Caravaca et al. (2012), Pellegrini et al. (2017) Han y col. (2019)
	Betaxantina	fw	0,05 hasta 1,65	
Flavanol	Catequina	mg/100g	1,65	
	Epigalocatequina	dw	0,8 hasta 2,5	
Flavanona	Hesperidina	mg/100g	2,7 hasta 4,1	
	Neohesperidina		3,9 a 10,3	
Flavonas	Apigenina	fw	0,4 hasta 0,7	
Flavonoles fenólicos	Kaempferol		2,3 hasta 6,2	
			0,03 hasta	
			0,3	
			2,4	
			3,3 hasta 6,1	
			0,1	
			1,4 hasta 2,5	
			0,4 hasta 0,7	
			1,4 hasta 1,92	
			1,5 hasta 2,2	
Ácidos fenólicos	Ácido cafeico	mg/100g	5,9 hasta 19	
			6,6 hasta 29,5	
			7,7	
			12,6	
			0,07 hasta 1,0	

Saponinas	Ácido siríngico	8,3 hasta 13,2
	Ácido vainílico	4,4 hasta 9,9
	Hederagenina	162 hasta 497
	Ácido oleanólico	249 al 661
	Ácido fitolacagénico	189 hasta 475

Nota: dw, peso seco; fw, peso fresco; tr, traza

*Datos obtenida de Alasalvar, C, Chang, SK, Bolling, B, Oh, WY, Shahidi, F. (202

Capacidad antioxidante

Benítez-Estrada *et al.* (2020) se refiere a la capacidad antioxidante y su determinación, indicando que, contribuye a valorar la calidad de los alimentos, la cantidad de antioxidantes presentes en un compuesto y la biodisponibilidad de sustancias antioxidantes en el organismo humano. Define los oxidantes como compuestos que tienen tendencia a donar oxígeno a diferentes sustancias. Una buena parte de especies reactivas de oxígeno son los radicales libres. Coronado *et al.* (2015) explica que un radical libre es una figura química la cual tiene en su estructura, uno o más electrones no apareados, siendo altamente reactivas formando otros radicales libres en cadena. Agregan estos mismos autores que un radical libre puede afectar 1 millón de moléculas durante la reacción en cadena, señalando a estos compuestos como parte de las llamadas especies reactivas de oxígeno (ERO) o ROS (reactive oxygen species) Benítez-Estrada *et al.* (2020) expresa con relación a los radicales libres que pueden afectar negativamente varias moléculas biológicas como los ácidos nucleicos, los lípidos y las proteínas.

Así mismo Bohórquez (2016) indica, que un antioxidante se entiende como una molécula capaz de prevenir o retardar la velocidad de oxidación de otras moléculas. Benítez-Estrada *et al.* (2020) explica, los antioxidantes neutralizan los radicales libres y pueden ayudar a prevenir o retardar el avance de diversas enfermedades no transmisibles que pueden afectar al organismo humano. Coronado *et al.* (2015) señala que la función antioxidante se asocia al proceso de óxido-reducción, presentando dos momentos básicos: oxidación, el cual implica pérdida de electrones de hidrogeno obteniendo ganancia de oxígeno en la molécula; y reducción, que incluye ganancia de electrones de hidrogeno con la pérdida de oxígeno, posibilitando que el oxidante se reduzca al reaccionar con la molécula que oxida; estos procesos son llamados balance redox y son cotidianos en el

organismo humano. Bohórquez (2016) clasifica los antioxidantes según su acción en organismos vivos: antioxidantes primarios, previenen la conformación de nuevas especies reactivas de oxígeno; antioxidantes secundarios, capturan radicales, impiden reacciones en cadena, como ejemplo están la vitamina E y C; antioxidantes terciarios, responsables de reparar las biomoléculas dañadas.

Padrón *et al.* (2014) se refieren a los antioxidantes naturales y expresan que pueden ser compuestos fenólicos como los flavonoides, ácidos fenólicos, tocoferoles; compuestos de nitrógeno como alcaloides, derivados de la clorofila, aminoácidos y aminas o carotenoides, el ácido ascórbico. Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un grupo numeroso de sustancias, con diferente estructura química y actividad determinada; una buena cantidad de las propiedades útiles en los alimentos de origen vegetal relacionadas con la actividad antioxidante, como el papel protector en enfermedades cardiovasculares y cáncer como también en los procesos de envejecimiento, tienen una estrecha relación con la presencia y contenido de los compuestos fenólicos.

Hernández-Ledesma (2019) analiza la estructura química de los compuestos fenólicos y su estabilidad, señalando que esta, le confiere eficaces propiedades antioxidantes, las cuales obran a través de diferentes mecanismos, actuando como reductores, con la capacidad de eliminar radicales libres; actúan como agentes quelantes de iones metálicos, catalizan reacciones oxidativas, inhiben las oxidasas, estabilizan los radicales libres.

Los antioxidantes en la quinua han sido estudiados por diversos autores como Vega-Gálvez *et al.* (2018), Tang *et al.* (2015), Abderrahim *et al.* (2015), Liu *et al.* (2019) y otros, obteniendo como resultado altos contenidos de antioxidantes, lo cual consideran una

semilla excepcional para su consumo. Los compuestos fenólicos de la quinua se caracterizan por su alto contenido de antioxidantes.

Vega-Gálvez *et al.* (2018) hacen alusión a estudios anteriores, los cuales han descrito a las semillas de quinua como una fuente excepcional y abundante en ácidos fenólicos, tal como el ácido vainílico, el ácido ferúlico y sus derivados, así como en flavonoles, como la quercetina y el kaempferol y sus glucósidos, ya sea en forma libre, ligada o conjugada. A estos compuestos se les conoce por prevenir diversas enfermedades degenerativas, (la enfermedad coronaria, la aterosclerosis, el cáncer, la diabetes, la enfermedad de Alzheimer) mediante la acción antioxidante y la interacción de múltiples funciones proteicas.

Medición de antioxidantes

Teniendo en cuenta las reacciones involucradas, en la medición de la capacidad antioxidante Huang *et al.* (2005) menciona que pueden dividirse en dos categorías, la primera corresponde a ensayos basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y la segunda se relaciona con ensayos que se fundamentan en la reacción por transferencia de electrones (ET). Estos últimos, involucran dos componentes en la mezcla de reacción, antioxidantes y oxidantes, además, el cambio de color de la reacción se corresponde con la concentración del antioxidante. Estos mismos autores definen el ensayo ET como un indicador de punto final de la reacción, en donde se produce una reacción redox con el oxidante; el ensayo HAT lo señalan como un ensayo que monitorea la cinética de reacción competitiva y su cuantificación se deriva de las curvas cinéticas, componiéndose de un generador de radicales libres sintéticos, una sonda molecular oxidable y un antioxidante. Estos ensayos tienen como finalidad la medición de la

capacidad eliminación radical, en lugar de la capacidad antioxidante preventiva de una muestra.

Cárdenas (2015) referencia algunos de los métodos utilizados para la cuantificación de capacidad total antioxidante (CAT); algunos ejemplos de estos son: ensayo de capacidad reductora (FRAP), capacidad de atrapar radicales utilizando moléculas en forma de radical como el Ácido 2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) o el 2,2 difenil-1-picrilhidracilo (DPPH); menciona también métodos como el CUPRAC el cual se basa en la capacidad reductora del cobre, señalando que este método espectrofotométrico es confiable para la determinación del CAT, basándose en la capacidad para reducir al cromóforo; también método de capacidad de absorción del radical oxígeno, acrónimo de Oxygen Reactive Absorbance Capacity (ORAC), presentando una desventaja frente a los demás métodos, el cual no permite cuantificar los antioxidantes cuando son lipofílicos o con el uso de soluciones polares. Otra medida usada según Martínez *et al.* (2000), para la evaluación de la actividad antioxidante de compuestos fenólicos es la expresada en equivalentes de trolox (TEAC); esta, se define como la concentración de una solución de trolox con potencial antioxidante la cual equivale a 1mM (milimol) del compuesto fenólico.

En la Tabla No. 25 se exponen los métodos de cuantificación según la categoría de ensayo, relacionando los métodos más comunes, esta tabla fue tomada y adaptada de los autores Huang *et al.* (2005)

Tabla No. 25

Ensayos de capacidad antioxidante in vitro

Ensayo	Categoría
Ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS* +)	Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET)

1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH*)	
Poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP)	
N,N- dimetil-p-fenilendiamina (DMPD)	
Capacidad de reducción antioxidante del cobre (CUPRAC)	
Capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC.)	Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)
Parámetro antioxidante de captura de radicales (TRAP).	
Inhibición de la oxidación del ácido linoleico (IUO)	
Inhibición de la oxidación de los lípidos de baja densidad (LDL).	
TOSC (total oxidant scavenging capacity)	Otros ensayos
(90) inhibition of Briggs–Rauscher oscillation reaction chemiluminescence electrochemiluminescence	

Nota: datos obtenidos de: Huang D, Ou B, Prior RL. (2005)

La quinua y su capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante en la quinua es evaluada por varios métodos; algunos de estos son el método DPPH y el ORAC empleados por Vega-Galvez *et al.* (2018) en donde el resultado para las semillas de quinua por el DHPP, variaron entre 10,74 a 20,17 mmol de equivalentes de Trolox (TE)/100g. Estos autores comparan su resultado con autores como Hirose *et al.* (2010) y Tang *et al.* (2015) los cuales obtuvieron valores más bajos. En el ensayo ORAC la CTA vario entre 22,25 a 73,16 mmol de TE/100g.

Abderrahim *et al.* (2015) analiza la CTA de la quinua por medio del procedimiento de CUPRAC a base de reactivos de cobre (II), encontrando valores entre 119,8 y 335,9

mmol de equivalente de Trolox/kg en las muestras de quinua coloreadas. Estos autores señalan que este contenido supero los valores de varios cereales, referenciando a Tufan *et al.* (2013) con contenidos de cebada (26,35 mmol TE/kg), centeno (16,21 mmol TE/kg), trigo (13,44 mmol TE/kg) y avena (10,46 mmol TE/kg) siendo medidos con el mismo reactivo Quencher-Cuprac. En el caso de autores como Hemalatha *et al.* (2015) relacionan un contenido alto de antioxidantes en las fracciones de salvado y cascaras con contenidos de 9,84ug/ ml y 12,45ug/ml respectivamente. En fracciones como el grano entero (14, 71ug/ml) mostro una mayor actividad antioxidante al igual que las fracciones de grano molido (31,9ug/ml). Estos contenidos son comparados con investigaciones como las de Tang *et al.* (2015) donde se evidencia una correlación significativa entre la actividad CPT y DPPH en granos oscuros con respecto a granos rojos y blancos; concluyendo así Hemalatha *et al.* (2015) que la eliminación de radicales de salvado y cascaras podrían atribuirse a mayores contenidos fenólicos.

Hang *et al.* (2019) obtienen contenidos de actividad antioxidante que van desde 35,06 a 70,48 umol TE/g peso seco (DW) en sus 7 variedades con el ensayo ORAC y valores totales de FRAP desde 110,26 a 216,71mg TE/100gDW; señalan a la quinua roja, con mayor capacidad antioxidante, comparada con la quinua negra, coincidiendo con Liu *et al.* (2019), los cuales llegan a esta misma conclusión. En la distribución de compuestos ligados y libres, Liu *et al.* (2019) obtuvieron un contenido mayor (5 umol TE/g) en los compuestos libres de la quinua blanca con respecto a los ligados, mientras que en la quinua de color roja y negra fueron más altos los compuestos ligados (23umol TE/g roja) y (19 umol TE/g negra) que los libres. Liu y sus colegas, comparan los contenidos encontrados, con Hang *et al.* (2019) quienes reportan una menor capacidad antioxidante en los fenólicos ligados que en los libres en las 3 variedades.

Actividad o función biológica de los compuestos bioactivos de la quinua

Los compuestos bioactivos, específicamente los fenólicos, son materia de investigación creciente, debido a su variada actividad biológica y a sus múltiples beneficios en la salud humana, como el papel que juegan en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, neurodegenerativas, indicios de artritis, así lo expresa Gámez-Villazana (2020) coincidiendo con varios autores como, Padrón *et al.* (2014), Quiñones *et al.* (2012) y Zhang *et al.* (2020) entre otros.

Zhang *et al.* (2020), se refiere a los compuestos fenólicos y explica que además de su efectiva actividad antioxidante, son potentes agentes antiinflamatorios y moduladores eficaces en la respuesta del sistema inmunológico. Los fenólicos inhiben la expresión de genes y proteínas de citocinas proinflamatorias de vías de señalización celular, modulan las respuestas inmunes y actúan positivamente sobre el microbioma intestinal. Estos compuestos presentan efectos vasodilatadores, así lo afirma Quiñones *et al.* 2012, además son capaces de mejorar el perfil lipídico, de amortiguar la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Padrón *et al.* 2014 hace referencia a la presencia de los compuestos bioactivos y su relación con el papel protector en enfermedades cardiovasculares, cáncer, procesos de envejecimiento. Zhang *et al.* (2020) afirma, se ha demostrado que los compuestos fenólicos tienen la capacidad de mejorar el daño endotelial, la reactividad plaquetaria y el daño oxidativo.

Los efectos de los polifenoles son fundamentalmente consecuencia de sus propiedades antioxidantes, así lo indica Quiñones *et al.* 2012 y agrega, las características fisicoquímicas de estos compuestos deben ser en parte las responsables de la capacidad para articular la actividad de varias enzimas, actuar en mecanismos de señalización y en varios procesos celulares de diferentes reacciones metabólicas celulares de óxido-

reducción. Repo-Carrasco *et al.* (2010) coincide con el anterior autor y se refiere a la estabilidad de la estructura química de estos compuestos fenólicos y a sus propiedades antioxidantes, las cuales se producen a través de diferentes mecanismos, actuando como reductores, con la capacidad de eliminar radicales libres y iones metálicos, inhibiendo oxidadas, estabilizando radicales libres. Escamilla *et al.* (2009) hace énfasis en los flavonoides y de forma particular en la quercetina, afirma que, tiene las condiciones para ejercer una efectiva función antioxidante, retirando oxígeno reactivo, principalmente en forma de aniones superóxidos, radicales hidroxilos, hidroperóxidos y peróxidos lipídicos. Además de bloquear la acción tóxica de estas sustancias sobre las células.

Navruz-Varli y Sanlier (2016) afirman con relación a la quinua, que sus contenidos de fibra, minerales, vitaminas, ácidos grasos, antioxidantes y especialmente fitoquímicos, la colocan en ventaja, respecto a otros alimentos, en términos de nutrición y beneficios para prevenir y mantener la salud, específicamente en afectaciones relacionadas con la osteoporosis, anemia, diabetes, dislipidemia, obesidad y enfermedad celíaca. La Tabla 26 especifica los compuestos fenólicos en la quinua y su actividad biológica estudiada.

Sobre los compuestos bioactivos de la quinua y su actividad o función biológica, Tang y Tsao (2017) determinan que los compuestos fenólicos de la quinua pueden inhibir la α -glucosidasa y la lipasa pancreática en el sistema digestivo, gracias a experimentos de inhibición enzimática *in vitro*. Concluyen que estos compuestos tienen el potencial necesario para disminuir el azúcar en la sangre y contribuir al control del peso corporal, siendo especialmente recomendados para pacientes con diabetes tipo 2.

Liu *et al.* (2019) sostiene que la semilla de quinua tiene efectos antitumorales, al demostrar, inhibición del crecimiento de células cancerígenas, señalando a la semilla negra con mayor capacidad antitumoral, en comparación con las semillas blanca y roja. Estos

mismos autores, destacan los efectos antiinflamatorios, en las semillas de quinua roja y negra, concluyendo que pueden ser posibles fuentes reguladoras de acciones inmunológicas efectivas.

Yichen *et al.* (2018) resaltan la acción antioxidante de los polifenoles en la quinua y su efecto protector relacionado con la salud humana. Hirose *et al.* (2010) explican que el contenido total de polifenoles en la quinua demuestra su capacidad de captación de radicales libres DPPH y por tanto su función antioxidante. Gawlik-Dziki *et al.* (2013) evaluaron la actividad antioxidante de extractos de polifenoles en hojas de quinua y evidenciaron la inhibición en la actividad de la lipoxigenasa, previniendo así, la oxidación de grasas. Del mismo modo, Graf *et al.* (2015) afirma, que los compuestos polifenólicos del pseudocereal, tienen efectos positivos para combatir la osteoporosis y la enfermedad de Alzheimer.

Lin *et al.* (2019) se refiere a los flavonoides en la quinua, en particular a la quercetina, la que demostró mayor capacidad antioxidante, agrega además que un número considerable de flavonoides generan actividades antibacterianas, antifúngicas y antivirales, tanto en vegetales, como en animales y en humanos. Otro flavonoide, el kaempferol y sus derivados, mostraron actividad contra bacterias gram-positivas y gram-negativas, así como contra la candida glabrata (levadura saprofita). Yu *et al.* (2016) encontraron que la rutina en la quinua puede reducir la permeabilidad y fragilidad de las células del músculo liso vascular en ratas diabéticas, previniendo la agregación de células sanguíneas, expandiendo las arterias coronarias y mejorando el flujo sanguíneo coronario, para prevenir y tratar así, enfermedades de tipo cardiovascular.

Hernández-Ledesma (2019), relaciona las saponinas y su gran variedad de actividades biológicas, incluyendo antivirales, antimicrobianas, antioxidantes,

antiinflamatorias, analgésicas, hipocolesterolémicas, hipoglucemiante, antitrombóticas, diuréticas; además de actividades moduladoras, neuroprotectoras e inmunoestimuladoras de la absorción. De acuerdo a la misma autora, se ha encontrado, que las saponinas pueden ser factores bioactivos naturales eficaces en la estimulación del sistema inmunitario del tejido adiposo.

De acuerdo a Lin *et al.* (2019) las saponinas pueden generar acciones antibacteriales, antimicóticas. Además, han mostrado una actividad biológica variada, como antiinflamatoria, anticancerígena, anticonceptiva, anti-VIH; igualmente, propiedades antidiabéticas.

Escribano *et al.* (2017) explica, que se ha demostrado con base en diferentes estudios, la capacidad de las betalaínas en la quimio-prevención del cáncer, experimentos in vivo, han demostrado que estos pigmentos inhiben la formación de tumores en ratones. La bioactividad de las betalaínas está respaldada por la alta capacidad anti-radical del ácido betalámico. Las betalaínas mostraron un potencial bioactivo importante, así lo da a conocer Lin *et al.* (2019) al mostrar un alto contenido de antioxidantes y actividad de eliminación de radicales libres. De acuerdo a Tang *et al.* (2015), al comparar las variedades de quinua blanca y negra, las betacianinas y betaxantinas mostraron la mayor actividad antioxidante.

Tang y Tsao (2017), se refieren a la quinua y al amaranto y hacen énfasis en el valioso potencial de estos pseudocereales por todas sus características nutricionales y su actividad antioxidante y antiinflamatoria, además que proporciona un alto margen de seguridad para el consumo de personas celiacas, lo que implica una amplia perspectiva en la proyección de la industria de alimentos funcionales.

Expresan los mismos autores, que se requiere ampliar y profundizar las investigaciones para validar la actividad biológica, los efectos de los compuestos bioactivos en las semillas de quinoa y amaranto a nivel del organismo humano.

Tabla No. 26

Principales actividades biológicas de la quinua con relación a sus compuestos fenólicos.

Actividad Biológica	Compuestos	Fenólicos
Actividad antibacterial	Flavonoide s	Kaempferol
		Miricetina
	Ácidos fenólicos	Ácido gálico
		Ácido protocatechico
Actividad antioxidante	Flavonoide s	Ácido oleanolico
		Kaempferol
		Miricetina
		Quercetina
	Ácidos fenólicos	Rutina
		Ácido gálico
		Ácido protocatechico
		Ácido siringico
		Ácido cafeico
		Ácido clorogenico
		Ácido ferúlico
		Ácido isoferúlico
		Ácido oleanolico
Actividad antiinflamatoria	Saponinas	Betanina
	Betalaínas	Quercetina
	Flavonoide s	Miricetina
		Kaempferol
		Ácido siringico

	Ácidos fenólicos	Ácido ferulico
	Saponinas	Hederagenina Ácido oleanolico Ácido fitolacagenico
Actividad s	Flavonoide	Miricetina
anticancerígena	Ácidos fenólicos	Ácido protocatechico Ácido ferulico
Actividad s	Flavonoide	Rutina
antidiabética	Ácidos fenólicos	Ácido clorogenico
Actividad	Ácidos fenólicos	Ácido 4-hidroxibenxoico= acido p- hidroxibenzoico
antimicrobiana		Ácido siringico Ácido vainílico Ácido cafeico Ácido clorogenico Ácido ferulico
	Saponinas	Ácido oleanolico

Nota: tabla adaptada de Lin, M., Han, P., Li, Y., Wang, W., Lai, D., & Zhou, L. (2019).

La quinoa sus propiedades funcionales

Concepto y su evolución relacionados con propiedades funcionales

Para Millone *et al.* (2011) no hay una definición aceptada de forma universal sobre los alimentos funcionales; las expresadas por organismos expertos poseen un elemento común: el beneficio relacionado con la salud, más allá de los nutrientes que aportan y su capacidad de promover la misma.

De acuerdo a Barberá *et al.* (2011) se puede definir un alimento funcional como aquel que, al consumirse en su estado natural, demuestra aportes referidos a su valor nutricional y a efectos relacionados con la salud, teniendo en cuenta el contenido de nutrientes, las sustancias bioactivas o sustancias que se añaden al alimento. En cualquiera de los casos, los efectos deben quedar comprobados, por medio de estudios científicos con las debidas evidencias.

Millone *et al.* (2011), cita a ADA (American Dietetic Association) y a su definición, expresando que los alimentos funcionales pueden generar un efecto beneficioso para la salud, al consumirse como parte de una dieta variada, de forma constante y con los niveles que garanticen efectividad, incluyendo alimentos fortificados, enriquecidos, o mejorados. En la Tabla No. 27 se observa la forma en que esta organización ha clasificado los alimentos funcionales.

Tabla No. 27

Categorías de alimentos funcionales

Alimentos convencionales	Alimentos no modificados
Alimentos modificados	Alimentos fortificados, enriquecidos o mejorados
Alimentos medicinales	Alimentos formulados para ser consumidos o administrados bajo supervisión medica

Alimentos para usos dietéticos especiales	Alimentos infantiles, hipo alergénicos (por ejemplo: alimentos libres de gluten y libres en lactosa) y alimentos que se ofrecen para descenso de peso
---	---

Nota: Millone, M. V., Olagnero, G. F., & Santana, E. C. (2011)

Por su parte Aranceta *et al.* (2011) coincide con los autores anteriores, expresando que no hay un consenso sobre la definición de alimentos funcionales y hace alusión al enfoque planteado por ILSI (Instituto Internacional de Ciencias de la Vida en Europa): si un alimento ha demostrado de forma satisfactoria que beneficia una o varias funciones del organismo más allá de los efectos nutricionales, se considera funcional, al reducir algunos factores de riesgo de diferentes enfermedades, influyendo de forma importante en la mejora del estado de salud y el bienestar.

Millone *et al.* (2011) afirma que, a diferencia de ADA, ILSI se refiere a los alimentos diseñados, pues se establece una relación directa entre el aumento de las propiedades saludables y la transformación tecnológica del alimento, concluyendo que un alimento funcional puede ser:

- Un alimento natural, con un componente mejorado por medio de condiciones especiales de cultivo.
- Alimentos con un componente añadido que produce beneficios. Las bacterias probióticas son un ejemplo.
- Alimentos a los que se les elimina un componente para reducir efectos adversos sobre la salud. Como ejemplo se menciona, la disminución de ácidos grasos saturados.
- Un alimento en el que uno o más de sus componentes tiene modificaciones químicas con el fin de mejorar la salud. Este el caso de los hidrolizados proteicos adicionados en preparados de lactantes para reducir el riesgo de alergenicidad.

- Un alimento en el que se aumenta la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes, para mejorar su asimilación.

- Combinación de una y otra posibilidad de las anteriormente enumeradas.

Valenzuela *et al.* (2014) hace referencia a la definición dada por el Centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) de la Unión Europea, quien define los alimentos funcionales como productos a los cuales de forma controlada se les agrega un compuesto específico para aumentar sus propiedades saludables. Del mismo modo, Bigliardi y Galati (2013) aseguran que hasta el momento no existe una definición unificada ni normatividad relacionadas con los alimentos funcionales.

Para Beltrán (2016) un alimento funcional puede ser: un alimento normal, hace referencia al pescado como ejemplo, por su considerable contenido de ácidos grasos omega-3; alimentos modificados como la leche enriquecida con omega-3, con calcio, o con vitaminas A y D, yogures enriquecidos, zumos con vitaminas y minerales, cereales reforzados; alimentos no modificados, se refiere al aceite de oliva, la soja, el yogur, frutos secos, cereales integrales, frutas y verduras.

Fundamentación científica sobre la caracterización de los efectos funcionales

De acuerdo a Aranceta *et al.* (2011) hay claras evidencias científicas, relacionadas con la importancia de la dieta y la nutrición para garantizar una buena salud en el ciclo de vida de los seres humanos. Los alimentos funcionales no reemplazan a los alimentos naturales, sino que se deben incorporar como parte de una dieta variada y equilibrada.

Bigliardi y Galati (2013) aseguran que los efectos de los alimentos funcionales hacia la salud, se pueden definir como el beneficio directo relacionado con la salud, la reducción de enfermedades de riesgo y el mejoramiento en condiciones de vida.

Barberá *et al.* (2011), se refiere a la evidencia científica de la modulación que ejercen los alimentos funcionales sobre el sistema inmunológico, al aumentar la actividad fagocítica de monocitos y granulocitos, al igual que los niveles de células secretoras de anticuerpos.

Beltrán (2016) indica que actualmente la investigación referida a los alimentos funcionales se dirige hacia objetivos y funciones concretos, a continuación, se especifican y se sugieren los alimentos que pueden garantizar su cumplimiento.

Crecimiento y desarrollo: incluye el proceso de gestación, crecimiento y desarrollo del niño.

Alimentos enriquecidos con hierro, yodo, ácido fólico, ácidos grasos, calcio, vitamina A y D

Metabolismo o utilización de nutrientes: control de peso adecuado, glucemia, tasas de colesterol y triglicéridos plasmáticos relacionados con el riesgo cardiovascular, rendimiento de la actividad física.

Alimentos bajos en grasa, con omega-3, grasa monoinsaturada (ácido oleico), fibra, azúcares sencillos.

Defensa antioxidante: sustancias antioxidantes que actúan como una barrera frente a los radicales libres.

Alimentos con vitaminas E y C, carotenoides, selenio, zinc, así como polifenoles, zumos de frutas y bebidas lácteas.

Sistema cardiovascular: situaciones relacionadas con hipertensión, dislipemias, bajas concentraciones de vitamina K.

La presencia de ácidos grasos (omega-3 y omega-6), fibra, flavonoides, pueden inhibir la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) plasmáticas. Los fitoesteroles pueden reducir el colesterol LDL.

Fisiología o funcionamiento intestinal: el equilibrio de la flora microbiana intestinal es fundamental para conservar la salud.

Alimentos ricos en fibra, los probióticos, prebióticos, simbióticos.

Funciones psicológicas y conductuales: es evidente la relación entre nutrientes, componentes alimentarios y distintas funciones cerebrales.

Los alimentos que pueden contribuir en este caso son variados, desde alimentos ricos en proteínas, carbohidratos, como sustancias excitantes y tranquilizantes.

En la Tabla No. 28 se exponen varios ingredientes funcionales, además de sustancias de origen natural con su debida caracterización y los mecanismos y efectos que generan en el organismo humano. Esta recopilación se elaboró con base en investigaciones realizadas por Barberá *et al.* (2011) y Aranceta *et al.* (2011)

Tabla No. 28*Ingredientes y sustancias de origen natural funcionales.*

Ingrediente Funcional	Caracterización	Mecanismos-Efectos
Probióticos (1)	Microorganismos vivos (bacterias o levaduras) Se utilizan especialmente en productos lácteos fermentados, el yogurt es uno de estos.	Se ha demostrado que la ingestión de yogur estimula la producción de citoquinas, incluyendo interferón- γ (IFN- α)
Prebióticos (1)	Los prebióticos, por lo general hidratos de carbono de cadena corta, pueden ser fermentados a lo largo del tracto gastrointestinal y estimular el crecimiento de bifidobacterias potencialmente beneficiosas. La fibra dietética, la leche humana, sirven de ejemplo.	Está comprobada la mejora de la flora intestinal al aumentar el número de bacterias anaerobias como Bifidobacteria y Lactobacillus y disminuir los Clostridium.
Proteínas (2)	Proteínas de la leche, (inmunoglobulinas, lactoferrinas) suero lácteo o hidrolizado de estas. Soya	Factores de crecimiento. Construcción de esqueleto sano. Protección contra toxinas, bacterias, virus.
Lípidos (2)	Lípidos de origen lácteo como los fosfolípidos. Ácidos grasos omega-3 Sustancias de origen natural con efectos funcionales	Efectos beneficiosos sobre enfermedades cardiovasculares.
Vitamina C (1-2)	Kiwi, cítricos, pimiento verde, espinacas.	Antioxidante. Crecimiento, desarrollo de niños y adolescentes. Prevención de la enfermedad coronaria, cáncer y cataratas.
Vitamina D (2)	Pescado, leche, huevos, luz solar.	Regulación del metabolismo fosfocálcico. Desempeña papel regulador en sistema inmunológico

Vitamina A (1- 2)	Leche, hígado, huevos, atún, sardinas	Función inmune, antioxidante.
Vitamina E (1-2)	Aceite de oliva, yema de huevo, nueces guisantes, brócoli, espinacas, tomates	Esencial para el correcto funcionamiento del sistema inmune. Su acción antioxidante, es importante, previene propagación de radicales libres y oxidación de los lípidos de las membranas celulares. Regula mecanismos de la visión.
Calcio (2)	Leche y derivados, cereales, frutas y vegetales.	Sistema óseo, activación sistema enzimático, coagulación sanguínea, contracción muscular.
Zinc (1-2)	Carnes rojas, mariscos	Refuerzo del sistema inmunológico. Maduración sexual, fertilidad.
Ácidos grasos omega 3 y 6 (1-2)	Pescado, mariscos, nueces, semillas. Aceites vegetales.	Prevención de enfermedades cardiovasculares y efectos beneficiosos contra el hipercolesterolemia. Desarrollo cognitivo y psicomotor.
Hierro, (2)	Carne, pescado, vegetales	Producción de hemoglobina y mioglobina.
Ácido fólico. (1-2)	Berros, hígado, acelgas, nueces, yema de huevo.	Los folatos son requeridos para la síntesis de ADN durante la división celular. Desarrollo del tubo neural. Prevención de anemias megaloblásticas en el recién nacido.
Aminoácidos esenciales		Mantenimiento de células y tejidos. Crecimiento y

(1-2)	composición corporal. Protección contra toxinas, bacterias, virus.
Arginina, glutamina y cisteína. (1)	Influencia sobre inmunidad.
Cisteína (1)	Fortalece la capa protectora del estómago- intestino

Nota: Elaboración propia, basada en las siguientes referencias: 1. Barberá Mateos, J. M., & de Sanidad, C. D. M. C. (2011)

La quínoa y los efectos de su funcionalidad en el organismo humano

Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) afirma que, a pesar de la composición y propiedades de los pseudocereales, hay limitaciones a nivel de las evidencias científicas para respaldar las declaraciones de propiedades saludables en modelos in vivo y se limitan a algunos estudios en animales y ensayos en humanos.

Por su parte, Farinazzi-Machado *et al.* (2012) se refiere en su estudio, a los efectos de la quinua en el perfil antropométrico, bioquímico, y presión arterial del organismo humano, para a través de estos parámetros, medir los riesgos de enfermedades cardiovasculares. Se realizaron pruebas con 22 estudiantes, cuyas edades oscilaron entre 18 y 45 años. Durante 30 días, y de forma continua se efectuó el consumo de barras de cereal elaboradas con quinua, determinando el perfil glucémico y bioquímico del grupo, recolectando las muestras de sangre necesarias. En el análisis de los resultados se evidencia el efecto beneficioso en parte de la población materia de estudio ya que los niveles de colesterol total, triglicéridos y LDL-c mostraron reducción. Concluyendo que el consumo de la quinua en la dieta puede prevenir y tratar factores de riesgo asociados a las enfermedades cardiovasculares, las cuales se ubican como las principales causas de muerte

en el mundo actual. Sin embargo, se requiere de nuevos estudios y más evidencias para probar los respectivos beneficios.

De Carvalho *et al.* (2014) investigó los efectos del consumo de quinua en un conjunto de mujeres posmenopáusicas, valorando las concentraciones de glucosa, colesterol total y fracciones y en los marcadores de estrés oxidativo. Es necesario recordar que, en esta etapa, las mujeres pueden presentar problemas de salud asociados con la disminución de estrógenos, generándose un considerable nivel de estrés y presentando enfermedades crónicas. Señalan Carvalho y sus colegas que el aumento en los niveles de colesterol y triglicéridos (TG) y la afectación del metabolismo de los carbohidratos, pueden ser otros de los efectos relacionados con la menopausia, que puede finalmente desembocar en intolerancia a la glucosa e hiperinsulinemia (cuando el páncreas produce más insulina de la que realmente necesita el organismo). Como resultados relevantes se señalan, la reducción en los triglicéridos séricos, concentraciones de vitamina E y un aumento en la excreción urinaria de enterolignanos. La reducción del colesterol total y el colesterol LDL y el aumento de glutatión reducido (GSH). Así mismo, la inclusión diaria en la dieta de 25 g de quinua puede haber mejorado el perfil lipídico. Lo anterior permite deducir un posible efecto beneficioso del consumo de la quinua.

Foucault *et al.* (2014) hace referencia a la quinua como una de las pocas plantas, que contiene fitoecdisteroides (la 20-hidroxicadisona-20E- la más común), los cuales presentan una amplia gama de efectos farmacológicos en mamíferos. Contribuyen en la inmunomodulación, el control en la estabilidad de la glucosa y previenen la obesidad inducida por la dieta en ratones.

En su estudio Foucault y sus colegas, utilizaron ratones machos, de seis semanas de edad, con el fin de mostrar la prevención de la obesidad inducida por la dieta mediante la

quinua enriquecida y la suplementación con 20 E puro. Los resultados pueden ser consecuencia del mejoramiento en la oxidación de los carbohidratos y al déficit en absorción de lípidos. Teniendo en cuenta que luego de 21 días de tratamiento, el exceso constante del gasto energético al igual que la pérdida de lípidos fecales pudo producir la reducción de la masa grasa.

Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) afirma que otro de los efectos favorables para la salud de los fitoecdisteroides de la quinua, es el de la protección de la piel contra el envejecimiento, debido a su capacidad para quelar iones metálicos y eliminar radicales libres. Así mismo otro beneficio importante de los fitoecdisteroides es referido al mejoramiento del rendimiento físico, al propiciar la síntesis del musculo esquelético, reemplazando así a los esteroides. La 20E juega un papel importante para prevenir el déficit de memoria en ratas que presentan diabetes, a través del incremento de la capacidad antioxidante en el cerebro.

Noratto *et al.* 2019 de acuerdo a su investigación con ratas wistar y ratones diabéticos obesos, respectivamente, encontraron que la ingesta de la quinua previno la hiperglucemia, produjo la reducción del colesterol total y colesterol LDL. Además, se determinó el efecto de modulación de los biomarcadores inflamatorios y la disminución de esteatosis hepática (grasa excesiva en hígado) y del almacenamiento de colesterol total en el hígado.

Stikić *et al.* (2020) utilizaron para su estudio semillas de quinua cosechadas en la ciudad de Serbia, las variedades Puno y Titicaca fueron seleccionadas para comprobar por medio del análisis del contenido fenólico, flavonoide y actividad antioxidante las características promotoras de la salud, de forma específica, el posible efecto anticancerígeno de las semillas, en las células de cáncer colorrectal humano.

Por medio del ensayo de citotoxicidad in vitro se determinó que el mayor efecto anticancerígeno lo mostro el extracto de semillas de Puno comparado con el extracto de semillas de Titicaca, al igual que un mayor contenido de ácidos fenólicos, en particular el ácido ferulico, cuyo contenido fue del 78% (del total de ácidos) en los extractos de Puno, mientras que en el extracto de Titicaca no se identificó. En cambio, el contenido de ácido p-cumárico fue prácticamente 3 veces mayor en Titicaca que en Puno. Lo cual puede tener implicaciones en sus efectos citotóxicos. Sin embargo, los extractos de los dos cultivares mostraron una alta actividad antioxidante. Por tanto, se demostró una poderosa actividad anticancerígena del extracto de semilla de quinua contra la línea celular de cáncer colorrectal humano HCT-116 (cultivo celular).

Gawlik-Dziki *et al.* (2013) realizaron estudio en extractos de hojas de quinua por medio de digestión simulada. Determinaron un alto contenido de compuestos fenólicos y una significativa actividad antioxidante, al generarse un efecto inhibitor sobre la proliferación de células de cáncer de próstata. Es posible, además, que contribuyan en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como la aterosclerosis. En la Tabla No. 29 se puede observar los efectos demostrados de la quinua, en la salud humana y animal.

Tabla No. 29

La Quinoa beneficios para la salud, demostrados en modelos animales y humanos

Enfermedad	Modelo animal	Modelo humano	Diseño de estudio	Resultados observados
Dieta rica en fructosa	Ratas Wistar	-	Control vs semillas de quinua en una dieta alta en fructosa 24 animales 5 semanas	<ul style="list-style-type: none"> *Reducción significativa del colesterol total, LDL (colesterol malo) y TG en suero *Reducción de los niveles de glucosa y proteínas totales en plasma. *Inhibición de la disminución de HDL (colesterol bueno) inducida por fructosa *Reducción del tejido adiposo mediante la reducción del tamaño de los adipocitos y disminución de la expresión de genes implicados en el almacenamiento de lípidos.
Obesidad inducida por la dieta	Ratones C57BL / 6J	-	Extracto enriquecido con 20-hidroxiecdisona 48 animales 3 semanas	<ul style="list-style-type: none"> *Atenuación de los niveles de ARNm de los marcadores de inflamación (proteína quimiotáctica 1 de monocitos, CD68) y de resistencia a la insulina (osteopontina, PAI-1) *Reversión de los efectos de la alta regulación a la baja inducida por grasas de los niveles musculares de ARNm de la proteína UCP (s)

Deficiencia de Fe	Ratas albinas Wistar	-	Control vs pan de quinua	<p>*Aumento del contenido de Fe</p> <p>*Aumento significativo de las concentraciones de hemoglobina.</p> <p>*Regulación a la baja de los niveles de expresión del receptor de transferrina 2 (TfR2)</p> <p>*Disminución de los síntomas clínicos con reducción del índice de actividad de la enfermedad y del grado de daño histológico.</p>
Colitis	Ratones C57BL / 6	-	Control vs dieta de quinua 40 animales Inducción de DSS (Sulfato de Dextrano Sódico, exposición de 5 días. 2, 5%)	<p>Alivio de la disbiosis ⁺⁺ inducida por DSS con disminución de la expansión anormal de Proteobacteria.</p> <p>*Disminución del crecimiento excesivo de <i>Escherichia / Shigella</i> y <i>Peptoclostridium</i></p> <p>*Reducción del colesterol total y LDL</p>
Inflamación asociada a la obesidad	Ratones obesos diabéticos db / db	-	Dieta basal vs quinoa-dieta 30 animales 8 semanas	<p>*Reducción de LDL oxidada</p> <p>*Reducción de carbonilos proteicos</p> <p>*Disminución de IL-6 (glucoproteína)</p>

Dietas de alto índice glucémico	Ratas Wistar	-	Harinas de quinua germinadas o fermentadas Dietas de alto índice glucémico 36 animales 47 días	*Disminución de la esteatosis hepática y acumulación de colesterol total en el hígado. *Reducción de la ingesta de alimentos, glucosa en sangre y niveles de lípidos. *Acumulación de tejido adiposo epididimario
Desnutrición	-	Niños desnutridos	Alimento infantil de quinua (200 g / día) 40 individuos 15 días	*Aumento de IGF-1 ⁺ en plasma
Enfermedad cardiovascular	-	Estudiantes	Barritas de quinua (19,5 g / día) 22 individuos 30 días	*Reducción del colesterol total, LDL y TG *Sin reducción significativa de los niveles de glucosa en sangre, peso corporal y presión arterial *Reducción significativa de las concentraciones séricas de TG, TBARS y vitamina E
Post menopausia	-	Mujeres posmenopáusicas y con sobrepeso	Quinua vs hojuelas de maíz 35 individuos 4 semanas	*Aumento de la excreción urinaria de enterolignanos. *Reducción del colesterol total y LDL *Aumento de los niveles de GSH
Obesidad	-	Sujetos con sobrepeso y obesidad	Semillas de quinua (25 y 50 g / día)	*Sin alteración de la composición corporal, la ingesta

			50 individuos 12 semanas	de nutrientes y el colesterol total, LDL y HDL *Disminución de TG en el grupo de la quinua *Reducción de la prevalencia del síndrome metabólico. *Disminución significativa del índice de masa corporal y la hemoglobina glucosilada.
Prediabetes	-	Sujetos prediabéticos	Control vs quinua procesada 30 individuos 28 días	*Aumento del grado de saciedad y plenitud (completo) *No hay diferencias significativas en los niveles de glucosa plasmática en ayunas.
Prediabetes	-	Sujetos prediabéticos	Combinación de quinua y mijo cola de zorra 10 individuos 75 días	*Reducción del colesterol total, HDL y VLDL y TG *Sin modificación del colesterol HDL
Enfermedad cardiovascular	-	Sujetos masculinos con sobrepeso	Pan enriquecido con quinua <i>versus</i> pan de trigo refinado 37 individuos 8 semanas	*Modificación de la respuesta a la glucosa. *Efectos mínimos sobre otros biomarcadores de riesgo cardiovascular (colesterol LDL)

Nota. Tabla adaptada basado en Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020).

*Desde hace años se conoce la importancia del IGF-I en el desarrollo fetal y en la infancia y adolescencia al ser el principal responsable de muchos de los efectos de la GH (hormona de crecimiento) ** Una disbiosis intestinal se caracteriza por la alteración de

la flora intestinal a nivel de: • Disminución de la riqueza o diversidad de microorganismos beneficiosos. • Alteración de las funciones de la flora intestinal

Alimento sin gluten

Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) se refiere al aumento en la demanda de alimentos sin gluten (AG) lo que ha generado la realización de estudios de investigación con el objetivo de desarrollar nuevos alimentos saludables (AG) nutricionalmente equilibrados. Los pseudocereales se destacan como ingredientes alternativos en las formulaciones(AG), ya que son granos con un alto valor nutricional y constituyen una fuente valiosa de compuestos bioactivos. Trabajar en el mejoramiento de las características bioactivas, tecnológicas y sensoriales sigue siendo un desafío para la elaboración de nuevos alimentos sin gluten.

La celiaquía era desconocida e ignorada hasta hace pocos años, así lo afirma Schoenlechner (2017), agrega que solamente hasta luego de mediados de la década de 1990 el mundo fijó su mirada hacia esta dolencia. Su prevalencia se estima en un 1-2 % en la población mundial, con un aumento constante. Sapone *et al.* (2012) se refiere a tres tipos de reacciones al gluten: la enfermedad celíaca, la alergia al trigo y la sensibilidad al gluten.

Moscoso y Quera (2016) definen la enfermedad celíaca (EC) como de carácter inflamatoria y con origen autoinmune. Afecta la mucosa del intestino delgado en pacientes predispuestos genéticamente, siendo su desencadenante la ingesta de gluten. Los mismos autores definen el gluten como un conjunto de proteínas propias de algunos cereales como el trigo, la cebada y el centeno, destacándose de forma principal las prolaminas, las cuales tienen un alto contenido de prolina.

Sobre el mismo tema Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) especifica que, en el trigo, la cebada y el centeno, el contenido de las prolaminas corresponden al 30-40% del total de proteínas, mientras que en los pseudocereales las principales proteínas de almacenamiento son las albúminas (2S) y las globulinas (7S, 11S o 13S), que representan más del 50% de

las proteínas totales, siendo las prolaminas muy escasas (~ 8%) (para ampliar información sobre este último aspecto, ver capítulo 1.) Los principales aminoácidos de las prolaminas de los cereales son la prolina y la glutamina, ambas implicadas en el origen y desarrollo de la enfermedad celíaca, mientras que los niveles elevados de aspartato / asparagina, arginina, serina, leucina y glicina se encuentran en las globulinas de quinua, por ejemplo. Martínez-Villaluenga y sus colegas, aseguran que al comparar la reducida proporción de prolaminas y características químicas de las proteínas de almacenamiento de pseudocereales con las prolaminas de los cereales es posible concluir que los pseudocereales pueden ser aptos para las personas celíacas al asegurar un bajo nivel de toxicidad y su utilidad como ingredientes en alimentos sin gluten.

Schoenlechner (2017) se refiere a que la exclusión estricta del gluten de la dieta es el único tratamiento eficaz para esta sintomatología y además señala que una dieta indicada para pacientes celíacos debe basarse en: el consumo de alimentos sin gluten; evitar el consumo de alimentos contaminados con gluten; asegurar una nutrición adecuada, compensando la posible ausencia de micronutrientes por alteraciones en la absorción intestinal.

Peñas *et al.* (2014) afirman que el amaranto, el trigo sarraceno y la quinua con su alto contenido de nutrientes, su calidad de proteínas, fibra dietética y ácidos grasos insaturados, son opciones importantes para la elaboración de productos sin gluten, frente a los cereales que contienen el gluten. En la Tabla No. 30 se relacionan varios de los productos elaborados sin gluten.

De acuerdo a Martínez-Villaluenga *et al.* (2020) se han realizado varios estudios con un enfoque bioquímico y molecular para verificar la seguridad de los pseudocereales en la dieta para pacientes celíacos. Se ha examinado tanto el patrón proteico como la

reactividad inmunoquímica con respecto a anticuerpos de gliadina o suero de sujetos celíacos.

El objetivo del estudio de Peñas *et al.* (2014) consistió en caracterizar varias muestras de quinua relacionadas con 11 variedades, cultivadas en diferentes hábitats. El análisis se realizó por medio de electroforesis en gel de poliacrilamida (SDS-PAGE), para definir sus perfiles proteicos y su inmunorreactividad *in vitro* respecto a anticuerpos animales anti-gliadina IgG y a anti-gliadina IgA de sueros de personas celíacas. De acuerdo a Peñas y sus colegas, de las variedades estudiadas, en ninguna se encontró gliadinas, el tipo de proteína toxica para los celíacos. Por lo tanto, se puede afirmar que la quinua puede consumirse por parte de pacientes celíacos sin ningún tipo de restricción.

Tabla No. 30

Productos elaborados sin gluten, desarrollos a partir del año 2010

Alimentos sin gluten	Ingredientes	Observaciones
Panes	Base de harina de arroz y maíz reemplazada por 40-100% de harina blanca de quinua.	La harina blanca de quinua realizó el volumen específico y produjo una estructura de miga homogénea del pan sin afectar negativamente el sabor.
	Base de harina de arroz, almidón de patata, almidón de mandioca y almidón de tapioca agria sustituido por un 20% de harinas integrales de quinua o amaranto	Los panes de quinua y amaranto presentaron volumen específico, firmeza y actividad de agua similares para controlar el pan, pero mostraron mayor contenido de proteínas, lípidos y cenizas y mayor área alveolar.

Pan plano	Mezcla de quinua, torta de maní y brócoli / remolacha.	Mayor contenido de proteínas y minerales y aceptación que los panes a base de trigo.
Galletas	Mezcla de harina de quinua, hojuelas de quinua y almidón de maíz	Mezcla que contiene 30% de harina de quinua, 25% de hojuelas de quinua y 45% de maíz producido galletas ricas en fibra dietética, aminoácidos esenciales, ácido linoleico y minerales y con buena aceptabilidad sensorial.
	Harina de quinua 100%	Las galletas de quinua producidas con variables optimizadas (contenido de grasa, contenido de azúcar, temperatura y tiempo de horneado) exhibieron una buena calidad sensorial y de textura y una alta actividad antioxidante.
Muffins	Base de harina de arroz reemplazada por 25%, 50%, 75% y 100% de harina de quinua.	La inclusión de harina de quinua hasta en un 75% produjo muffins de buena calidad en cuanto a textura y aceptabilidad general.
Fideos	Mezcla de almidón de patata, quinua extruida y no extruida (harina roja y blanca) y goma de tara (espesante) con o sin adición de harina de altramuza, proteínas vegetales y enzima peroxidasa (POx)	La formulación que contiene harina de quinua y harina de altramuza (70:30) en combinación con proteína de arroz (12%) y enzima peroxidasa (POx (1%) mostró una calidad de fideos satisfactoria y un alto contenido de proteína y fibra.

Bebida similar a la cerveza	100% malta de quinoa	La cerveza de quinua mostró una viscosidad y un pH de bebida similares a la cerveza de cebada y los niveles más altos de cationes metálicos. Las cervezas que contienen quinua y otros pseudocereales mostraron una buena aceptación general.
Bebida fermentada simbiótica	Extractos de agua de quinua y soja en diferentes proporciones fermentados con 2% de <i>L. casei</i> LC-1	Las formulaciones que contenían entre un 70% y un 100% de quinua mostraron mayor viscosidad y consistencia. Las fórmulas que contenían un 30% de quinua mostraron la menor histéresis, la mejor aceptación sensorial y composición química y la mayor intención de compra.
Bebida fermentada	Semillas de quinua de las variedades Rosada de Huancayo y Pasankalla fermentadas con diferentes cepas de bacterias del ácido láctico	Las bebidas fermentadas a base de quinua mostraron altos niveles de proteínas, fibra, vitaminas y minerales y recuentos microbianos viables y estables durante el tiempo de almacenamiento.

Nota: Tabla adaptada, basado en Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020).

Propiedades funcionales y tecnológicas de la quinua

Actualmente la alimentación y nutrición sana es una opción preferida por los consumidores, por lo cual se ha creado una demanda de proteínas magras de origen vegetal siendo más limpias y sostenibles que las de origen animal, tal como lo menciona

Aschemann *et al.* (2019).

La quinua es un alimento nutritivo con un alto contenido de proteínas, lo que la hace un pseudocereal muy llamativo. Sus propiedades funcionales son muy estudiadas para industrias como la alimentaria y otras. Autores como Mir *et al.* (2021), López *et al.* (2018), Ghumman *et al.* (2020) entre otros, mencionan sus principales propiedades funcionales: capacidad de absorción de agua y aceite, emulsificación, formación de espuma, las cuales son parámetros críticos que pueden afectarse por factores ambientales o de procesamiento.

Capacidad de formación de agentes espumantes

Según Gómez (2020) las espumas se consideran como dispersiones de burbuja de gas en una fase continua en fase líquida o semi sólida, estas espumas son sistemas termodinámicamente inestables que tienden a desaparecer si no se estabilizan. En los alimentos las proteínas cumplen con esta función de estabilizar; estas tienen que ser solubles en agua, tener la característica de exponer grupos hidrofóbicos a la superficie aire agua y tener el comportamiento como surfactante. En la dispersión las burbujas de gas están separadas por una fase continua de capas delgadas conocidas como lamelas o laminillas.

Meza *et al.* (2018) define a las espumas como sistemas dispersos constituidos por gas en un líquido, los cuales son desarrollados a partir de emulsiones, estos, juegan un papel importante al momento de la elaboración de alimentos. Estos mismos autores expresan que la clasificación de las espumas depende de su relación gas-líquido y la forma en que las celdas contienen el gas, siendo espumas burbujeantes como las de los helados; espumas polihedricas como la espuma de la cerveza, teniendo como una estructura tipo panel. Meza *et al.* (2018) menciona que la funcionalidad de la espuma depende de su inestabilidad y capacidad, esta última, se determina por el volumen de la espuma cuando se incrementa al incorporarse el gas a la solución emulsificadora. En cuanto a la inestabilidad,

se le atribuye al cambio temporal de la distribución del gas y líquido, los cuales están asociados con procesos de drenaje y coalescencia.

El contenido de la capacidad de formación de espuma (FC) en la quinua como propiedad funcional, ha sido investigada por diversos autores, los cuales han utilizado varias formas para analizar el contenido de FC en aislados de proteína de quinua. El contenido obtenido por Elsohaimy *et al.* (2015) en su investigación del aislado de proteína de quinua, analiza la capacidad de formación de espuma, de acuerdo a la cantidad de concentración de proteína con la que se realizan los ensayos, dando como resultados contenidos que variaron de 58,37 \pm 2,14% con una concentración al 0,1% de proteína y 78,62 \pm 2,54% con una concentración de proteína al 3% dando como promedio 69,28%; la capacidad formación de espuma se vio en aumento al incrementar la concentración de proteína. Estos mismos autores reportan la estabilidad de la formación de espuma (FS) la cual oscilo entre 83,55 \pm 5,95 en el tiempo 0 y 54,54 \pm 15,31% luego de 60 min.

Por otro lado, Shi *et al.* (2019) analiza y compara la funcionalidad de harinas y aislados de la quinua peruana (PQ) y de quinua de América del Norte-Canadá (NQ). Relacionan el pH con la capacidad de formación de espuma y estabilidad de la misma. Los ensayos para la harina PQ no presentaron formación de espuma al pH 3 al igual de la NQ, en pH como 5 y 7 presentaron niveles similares de formación de espuma siendo el pH 7 la máxima para ambos cultivares (138% PQ y 271% NQ). Estos mismos autores muestran los datos de estabilidad, relacionándolo también con el pH donde las dos variedades mostraron su máxima estabilidad en el pH 5 con valores de 97% PQ y 96% NQ.

Los resultados para el aislado de proteína de quinua, el ensayo con pH 5 para PQ fue el más alto (318%) y el de NQ fue el más bajo (240%), comparado con el ensayo con pH 7 de la NQ obtuvo una capacidad mayor (332%) y QP (282%). Estos autores consideran

que la quinua tiene un FC bajo y un FS alto. Autores como Aluko y Monu (2003) deducen que el bajo contenido de FC de la proteína de quinua es debido a la naturaleza globular que reduce la capacidad de generar la película interfacial alrededor de las burbujas de aire. Shi *et al.* (2019) contrasta sus resultados de FS con autores como Lindeboom (2005) & Elsohaimy *et al.* (2015) determinando que la FS de proteína de quinua es mayor en comparación a FS de la proteína de soja, pero menor que el de la proteína de huevo. Concluyen que esta diferencia podría ser debido a los diferentes genotipos de planta, que muestran una composición de aminoácidos diferentes y conformación de proteínas de las moléculas.

Mir *et al.* (2021) da a conocer en su investigación una mejora de las propiedades funcionales de la proteína de quinua, al ser aplicado un tratamiento térmico controlado, dando resultados positivos. La FC obtuvo un valor máximo de 89,9% a temperatura de 80 °C en un tiempo de 30min y un valor mínimo de 49,92% a temperatura 100°C en un tiempo de 15min. Para la estabilidad Mir *et al.* (2021) observo que a mayor tiempo de reposo (10 a 20min) hubo una pérdida significativa en la estabilidad de las proteínas aisladas y tratadas térmicamente; valores de 167,8% y 124,15% fueron encontrados en aislados de proteína de quinua tratados térmicamente 80°C durante 30min. Estos autores concluyen que la mejoría en la capacidad de formación de espuma, es debido al despliegue parcial que tiene las proteínas, lo que es causado por el tratamiento térmico, generando una rápida absorción de proteínas; igualmente explican que la disminución de FC con tratamientos a altas temperaturas, se puede explicar cómo una desnaturalización pronunciada inducida por el calor.

Autores como Elsohaimy *et al.* (2015), Johnson *et al.* (1979) & Ogungbenle *et al.* (2009) atribuyen a que una mejor capacidad de formación de espuma y estabilidad, mejora

la función del aislado de proteína de quinua, el cual aporta al proceso de horneado de productos como el pan.

Capacidad de absorción de agua y aceite

La capacidad de retención de agua es un parámetro fundamental para la formulación de diferentes alimentos, como productos cárnicos, tal como lo menciona Mir *et al.* (2021), señalando la importancia de la capacidad de unión de aceite, siendo indispensable para aplicaciones en extensores de carne, los cuales mejoran la retención del sabor y la sensación en el paladar de estos alimentos. Estos autores comparan su aislado de proteína de quinua con tratamiento térmico con aislados de proteína de quinua sin tratamiento, observando la capacidad de retención de agua, con resultados significativamente altos de PQ tratados con tratamiento térmico de 80⁰C durante 30min; a temperaturas más altas, el grado de desnaturalización es mayor lo que da como resultado la exposición de grupos de aminoácidos más hidrófobos, lo que produce que a mayor temperatura y tiempo, sea menor la capacidad de absorción de agua. Para el caso de unión de aceite, observaron que, a mayor temperatura y tiempo, era mayor la influencia en la absorción de aceite, esto para el caso del aislado de PQ tratado térmicamente a 100⁰C durante 30min, explican estos autores que con las temperaturas altas (100⁰C durante 30min) se obtiene una exposición máxima de cadenas laterales no polares (grupos hidrofóbicos) de aminoácidos, captando más aceite.

Elsohaimy *et al.* (2015) define la capacidad de absorción de agua y aceite como una propiedad funcional de suma importancia en los alimentos, ya que mejora la retención del sabor en la boca. Estos autores obtuvieron valores de absorción de agua de 3,94 +- 0,006ml/g, donde son comparados con valores como el de la proteína de trigo (3,67 +- 0,005ml/g) y la proteína de la soya (4,05 +- 0,15ml/g) teniendo en cuenta que son habitualmente utilizados en la nutrición humana. Para la absorción de aceite, Elsohaimy *et*

al. (2015) describe los valores obtenidos ($1,88 \pm 0,002 \text{ ml/g}$) para la proteína de quinua, siguiendo la tendencia con los otros dos cereales, proteína de trigo $1,58 \pm 0,03 \text{ ml/g}$ y proteína de soja ($2,10 \pm 0,10 \text{ ml/g}$), concluyendo que los aislados de proteína de quinua tienen una buena capacidad de absorción de agua y aceite, óptimos para el uso en productos como los de panadería, los cuales pueden ser utilizados para potencializar sus propiedades funcionales.

En el caso de Shi *et al.* (2019) su evaluación en la capacidad de absorción de agua y aceite de las 2 harinas analizadas PQ y NQ, no hubo diferencias significativas, dando como promedio $1,65 \text{ g/g}$ de absorción de agua y $1,75 \text{ g/g}$ en absorción de aceite. Para el caso de la proteína aislada, la proteína PQ ($4,75 \text{ g/g}$) fue mayor que la NQ ($2,85 \text{ g/g}$) en el caso de absorción de agua; para el caso de absorción de aceite no se notó diferencia, obteniendo un resultado promedio de $8,60 \text{ g/g}$.

Estos autores explican que a mayor número de grupos hidrófilos en la superficie las proteínas tendrán mayor capacidad de absorción de agua, debido a que tendrán más enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua, caso contrario para la retención de aceite, ya que tiene mayor cantidad de cadenas hidrófobas y cadenas laterales no polares, lo que hace que interactúen más con el aceite.

Shi *et al.* (2019) resalta el buen contenido de capacidad de absorción de agua y aceite, sugiriendo la proteína de quinua como potencial en uso de productos alimenticios viscosos como sopas, masas y productos horneados.

Capacidad de generar emulsiones

Sanz (2017) describe la definición de emulsión como un sistema disperso, estabilizado mediante la adición de un emulgente adecuado, con dos fases inmiscibles, una externa y otra interna siendo estas líquidas. Gómez (2020) define las emulsiones como

dispersiones de dos líquidos inmiscibles, uno de carácter polar y el otro no polar, menciona que las emulsiones pueden ser dos tipos: unas de aceite en agua y otras de agua en aceite. Las emulsiones tienen una fase dispersa, siendo el líquido que se va a dispersar en forma de pequeñas gotas, conocida como fase interna discontinua. En el caso de la emulsión del aceite en agua, la fase dispersa es el aceite y la fase continua sería el agua, algunos ejemplos son: la mayonesa, salsas, aderezos y leche. En cuanto la emulsión del agua en aceite la fase dispersa corresponde al agua y la fase continua al aceite, en este caso, se hace referencia a las margarinas y los aceites a modo de ejemplo.

Elsouhaimy *et al.* (2015) define las emulsiones como una de las propiedades funcionales más importantes de las proteínas, las cuales afectan el comportamiento de los productos alimenticios. Elsouhaimy *et al.* (2015) encuentra la capacidad de emulsión en el aislado de proteína de quinua con un promedio de $2,1 \text{ m}^2/\text{g}$. Analizando la concentración de proteína, obtuvo resultados como $1,24 \pm 0,05 \text{ m}^2/\text{g}$ para una concentración al 0,1% de proteína y $3,38 \pm 0,31 \text{ m}^2/\text{g}$ con una concentración al 3% de proteína, observando un incremento significativo al aumentar la concentración. Para la estabilidad de la emulsión, estos mismos autores obtienen resultados de $30,37 \pm 0,97$ y $46,34 \pm 1,24$, mostrando valores altos con concentración de proteína al 0,1 y 0,5% respectivamente, disminuyendo significativamente al aumentarse la concentración de proteína. Este estudio fue comparado con albumina de suero bovino que tiene como contenidos de capacidad de emulsión de $54,4 \text{ m}^2/\text{g}$ y su estabilidad de 41,7, concluyendo que la capacidad de generar emulsión de la quinua es baja comparada con la de albumina de suero bovino, pero mencionan que la estabilidad de la proteína de quinua es óptima.

Shi *et al.* (2019) analizan en su investigación la estabilidad de la emulsión para los aislados PQ y NQ donde se muestra su máxima estabilidad a pH 7 (99%) y la estabilidad

mínima a pH 5 (82% PQ y 81% NQ). Estos autores describen que los diferentes valores de pH para los valores mínimos entre harinas y aislados se puede atribuir a factores interferentes en la harina integral. Estos autores se refieren a la interacción variedades y pH, afirmando que la NQ mostro mayor estabilidad a pH 3, en cambio, a pH 5 y 7 no hubo mayor diferencia entre variedades, concluyendo que la estabilidad de la emulsión es buena para los dos aislados, coincidiendo así con autores como Lindeboom (2005) y Elsohaimy *et al.* (2015).

Mir *et al.* (2021) encontró para la capacidad de emulsión y su estabilidad, que los PQ tratados térmicamente superaron a los no tratados, pero que a mayor tiempo y temperatura se tenía pérdidas significativas en la capacidad y estabilidad de emulsión. La máxima capacidad de emulsión y estabilidad, fue a temperatura de 80⁰C con un tiempo de 30min. Mir *et al.* (2021) explica sus resultados, agregando que bajo las condiciones de este tratamiento se produjeron cambios estructurales limitados pero que favorecen las moléculas de proteína, debido a la desnaturalización que podría ser la fuerza impulsora para la mejora en la actividad de la emulsión y estabilidad de los aislado de PQ.

Autores como Elsohaimy *et al.* (2015) y Shi *et al.* (2019) concluyen que la capacidad y la estabilidad de emulsión son parámetros críticos que afectan los procesos industriales de no seleccionarse correctamente una proteína; agregan también que se necesita más estudio e investigación para demostrar la funcionalidad del aislado de proteína de quinua en el procesamiento de alimentos.

En la Tabla No. 31 se observan los diferentes resultados de las propiedades funcionales de los aislados de la quinua obtenidos por diversos autores en sus investigaciones.

Tabla No. 31

Propiedades funcionales de los aislados de quinua

Variedad	Capacidad de formación de espuma (%)	Estabilidad de la espuma (%)	Capacidad de absorción de agua (g/g)	Capacidad de absorción de aceite (g/g)	Capacidad de emulsificación (m ² /g)	Estabilidad de la emulsión (min)	Referencia
Aislado de quinua peruana (Kankolla y blanca Juli)	282	98	4,75	8,76	-	99	Shi <i>et al.</i> (2019)
Aislado de quinua del norte (Nq 94Pt)	332	99	2,85	8,44	-	99	Shi <i>et al.</i> (2019)
Aislado de quinua (Egipto)	69,28	69,15	3,94 ^a	1,88 ^a	2,10	38,43	Elsohaimy <i>et al.</i> (2015)
Aislado de proteína de quinua (IC507733)	56,78	41,8	2,0	2,71	23,96	150	Ghumman <i>et al.</i> (2021)
Aislado de proteína de quinua (india)	89,9	167,8	-	-	-	-	Mir <i>et al.</i> (2021)

Nota: tabla adaptada basada en Shi et al (2019)., Elsohaimy et al (2015)., Ghumman et al (2021) y Mir et al (2021)

Importancia de las propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos

De acuerdo a Zamora *et al.* (2020) la obtención de los nutrientes para los seres vivos ha sido una necesidad ineludible, al igual que lo son hoy en día las proteínas de los alimentos y sus propiedades funcionales, por lo que valorar sus beneficios se ha convertido en una prioridad para el aprovechamiento de la calidad de un producto. La funcionalidad de las proteínas implica los atributos de calidad que se requieren de un producto como la textura, contenido de grasa, retención de agua, rendimiento y color, entre otros.

Dependiendo de su funcionalidad pueden utilizarse en la elaboración de varios productos. En la Tabla No 32 se detalla las propiedades funcionales de las proteínas y su aplicación tecnológica. Es tal su importancia que se ha trabajado en aislar y concentrar las proteínas para así utilizarlas en otros alimentos como aditivos y lograr un mayor beneficio de sus propiedades.

Wu *et al.* (2020) se refiere a las proteínas alimentarias como nutrientes fundamentales para garantizar las diferentes funciones del cuerpo humano y su salud. El procesamiento físico y biológico puede modificar las proteínas, mejorando las propiedades nutricionales y funcionales de los productos alimenticios; los cambios pueden ser efecto de variaciones en el tamaño de partículas, solubilidad, estabilidad de la emulsión, estructura secundaria de las proteínas. El alto grado de funcionalidad de las proteínas alimentarias puede garantizar la estabilidad de burbujas de aire o gotas de aceite, la formación de estructuras de gel y muchas otras ventajas que pueden ser aprovechadas en la industria de alimentos.

Ghumman *et al.* (2021) afirma que las propiedades funcionales de las proteínas en la quinua están estrechamente relacionadas con sus características físico-químicas, son esenciales en el procesamiento de los alimentos y en la formulación de productos. Reitera

en que el conocimiento a profundidad de las características físicas, químicas y funcionales de las proteínas es clave para determinar sus aplicaciones teniendo ante todo en cuenta los aspectos relacionados con la nutrición y la salud.

De acuerdo a Steffolani *et al.* (2016) hay diversos factores que pueden influir en las propiedades funcionales de las proteínas, como son: la relación hidrófila / hidrófoba, fuerza iónica, pH, temperatura, actividad del agua, cambios en el medio ambiente, tipo de procesamiento, entre otros.

López *et al.* (2019) asegura que las proteínas animales pueden ser reemplazadas como ingredientes alimentarios por las proteínas vegetales en la dieta humana. Es el caso del amaranto, la quinua y la chía, los cuales tienen múltiples aplicaciones. Los aislados obtenidos de las proteínas de estos pseudocereales son la base para diversos productos alimenticios, dependiendo de sus propiedades funcionales, las que se relacionan directamente con sus características estructurales.

Ghumman *et al.* (2021) hace referencia a las características de los aislados de proteína de quinua (QPI) y a las variaciones en las estructuras secundarias de sus proteínas, explicando que influyen de manera importante en su funcionalidad y digestibilidad. Se retoma la investigación, de Wang *et al.* (2020) (capítulo 1) resaltando de sus resultados que la principal estructura secundaria en la proteína aislada de quinua fue la hoja β (de 30,86% a 36,88%). Ghumman *et al.* (2021) coincide con el estudio de Wang *et al.* (2020) y afirma que la proporción de láminas β fue más alta y la de hélice alfa fue más baja. Ghumman y sus colegas, indican que las proteínas con más alto porcentaje de láminas β configuran geles más fuertes que aquellos formados a partir de hélices alfa, además de proporcionar una estabilidad térmica mayor a las proteínas.

De acuerdo a Shen *et al.* (2021) las proteínas de la quinua se caracterizan por tener buenas propiedades funcionales, emulsificación, formación de espuma, gelificación, unión al agua, al aceite y la solubilidad.

López *et al.* (2019) afirma que de todas las actividades funcionales la solubilidad es de vital importancia por su influencia definitiva sobre las demás propiedades funcionales. Una alta solubilidad en medios acuosos garantiza buenas características de batido, espuma, gelificación, emulsión. Las proteínas de amaranto, quinua y chía demostraron un comportamiento de solubilidad similar, comparable a varias proteínas vegetales como la soja, el salvado de arroz y la proteína de guisante. Elsohaimy *et al.* (2015) da a conocer los resultados obtenidos en su estudio sobre la solubilidad del aislado de proteína de quinua, y afirma que esta propiedad depende directamente del pH. Con el incremento del pH se aumenta de manera importante la solubilidad, alcanzando un valor máximo (75,21%) a pH 10. Al contrario, se obtuvo una solubilidad mínima (25,59%) a pH 4. Se puede deducir que las proteínas ácidas son las principales proteínas del QPI.

Kaspchak *et al.* (2017) se refiere a que el aislado de la proteína de quinua produjo geles fuertes y estables, con un pH 3,5 y 70-90 ° C. En la formación del gel influyó el pH, debido a los cambios en su estructura secundaria y la solubilidad de la proteína. Sobre el mismo tema, Ghumman *et al.* (2021) hace referencia a las proteínas de la quinua, caracterizadas por su alta temperatura de gelificación lo cual permite formación de geles fuertes, siendo ideales como ingrediente en productos elaborados con insumos vegetales, semejantes a las carnes como tal, en productos picados de carne y pescado.

Elsohaimy *et al.* (2015) afirma que la proteína de quinua presenta alta capacidad y estabilidad espumante. Los resultados obtenidos en su estudio evidencian la alta capacidad de la proteína de quinua para formar espuma con suficiente estabilidad, lo cual ha

incentivado grandes posibilidades en el procesamiento de alimentos. En la Tabla No. 31 se especifican las cifras relacionadas con las propiedades funcionales de los aislados de quinua. Steffolani, *et al.* (2016) se refiere a las proteínas de la quinua, conformadas de forma principal por proteínas de tipo globular lo que implica la diferencia en la capacidad de formación de espuma, en cuanto a la estabilidad se puede explicar por su variada composición de aminoácidos. Dakhili *et al.* (2019) hace alusión al efecto de la saponina en la formación de espuma, indicando que cuando se elimina la saponina puede generarse la disminución de formación de espumas. No obstante, al aumentarse la concentración de proteína y la hidrólisis enzimática se mejora la formación de espuma. Agrega la misma autora que al conseguirse una eficiente capacidad de formación de espuma se logrará mejorar la funcionalidad del QPI y a su vez, puede repercutir positivamente en el proceso de horneado de pan.

En cuanto a la capacidad y estabilidad de la emulsión Dakhili *et al.* (2019) indica que son dos propiedades funcionales importantes de QPI, las cuales influyen en la selección de proteínas para su aprovechamiento en procesos industriales. Ghumman *et al.* (2021) se refiere a los aislados de quinua y su capacidad de formar mejores emulsiones, considerando que la estabilidad es semejante a la de las proteínas del amaranto. Así mismo, indica que sus propiedades emulsionantes superan al trigo, la soja y el mijo perla. Las modificaciones en las propiedades emulsionantes se han atribuido a cambios en las características tanto fisicoquímicas como estructurales de las proteínas.

Steffolani *et al.* (2016) determinaron que la capacidad de unión de agua y aceite de la proteína de quinua fue mejor, comparada con algunas proteínas de leguminosas, pese a que las propiedades se diferenciaron de acuerdo a las variedades de quinua. El valor del pH tuvo influencia directa en la capacidad de unión al agua. Con relación a la capacidad de

unión con el aceite, las variedades que mostraron contenidos más altos de aminoácidos hidrofóbicos, presentaron mayor capacidad de retención de aceite.

Ghumman *et al.* (2021) asegura que la alta solubilidad de los aislados de algunas variedades de quinua, facilitó la penetración y adsorción de las proteínas a lo largo de la emulsificación en la interacción aire-agua, aceite-agua.

Elsohaimy *et al.* (2015) se refiere a la considerable capacidad de los aislados de proteína de quinua para absorber agua y aceite, por tanto, su aprovechamiento en productos de panadería para potenciar de este modo sus propiedades funcionales. López *et al.* (2019) da a conocer que los aislados de proteínas con alta capacidad de absorción de agua, pueden tener muchas aplicaciones en la industria alimentaria al evitar pérdidas de agua en tortas, panes y aumentar la productividad y rentabilidad de productos congelados, embutidos, conservas de pescado.

Del mismo modo Ghumman *et al.* (2021) se refiere a la importancia de las propiedades funcionales de las proteínas en quinua y su adecuada estabilidad, capacidad de formación de espuma y emulsificación, como también a la suficiente capacidad de absorción de agua y grasa, características que les permite ser una excelente opción para elaborar pasteles, pan, magdalenas y embutidos tipo salchichas.

Steffolani, *et al.* (2015) afirma que a pesar de las semejanzas de los patrones electroforéticos hay un par de factores que influyen de forma importante sobre las propiedades funcionales de los aislados de proteína de quinua: la variedad-origen- y su composición de aminoácidos. Pero aclara, que independientemente del origen, se encuentra en las proteínas diferentes comportamientos respecto a su solubilidad y a la formación de espuma. Se refiere además a los resultados luego de efectuado su estudio sobre seis aislados de quinua, concluyendo que los aislados de proteína de quinua mostraron buenas

propiedades funcionales, y por tanto resultan apropiados para múltiples aplicaciones alimentarias. La QPI muestra un gran potencial como proteína vegetal alternativa destinada a la alimentación, especialmente a dietas vegetarianas y veganas.

De este modo, Quelal *et al.* (2019) luego de trabajar en la obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua con el objetivo de mejorar sus características químicas y funcionales, concluyeron que este hidrolizado al presentar la solubilidad, dispersibilidad y capacidad de formación de espuma requeridas, es una buena alternativa como suplemento proteico.

Ghumman *et al.* (2021) se refiere a la harina y a los aislados de proteínas de la quinua y asegura que pueden ser útiles en la preparación de alimentos por su alto contenido de proteína y excelentes propiedades funcionales. QPI evidencia una apropiada capacidad de formación y capacidad de espuma, emulsificación y solubilidad.

Tabla No. 32

Propiedades funcionales de las proteínas utilizadas en alimentos

Tipo De Interacción	Propiedad	Mecanismo	Uso Tecnológico
Proteína - agua	Solubilidad	Hidrosolubilidad	Empleadas en bebidas, como productos lácteos o diversas matrices alimentarias, para adicionarlas al alimento, aumentando su valor nutricional
	Viscosidad	Fijación de agua (tamaño y forma)	Se adicionan a salsas, recubrimientos, sopas, aderezos, postres con la finalidad de modificar la textura de los productos
	Retención de agua	Puentes de hidrogeno	Se emplean en productos de panificación, embutidos, bizcochos; provee de humectación en los productos son la finalidad de controlar su actividad de agua
Proteína - proteína	Gelificación	Formación de red tridimensional	Se emplea en glaseados, pudines, flanes, natas, surimi, quesos, carnes, bizcochos; para proveer una textura semisólida característica de ese tipo de alimentos.
	Cohesión y adhesión	Interacciones hidrofóbicas, iónicas y puentes de hidrogeno	Se emplea en productos cárnicos, embutidos, pastas y productos de panificación; permite integrar varios ingredientes dentro de una matriz alimentaria
	Elasticidad	Interacciones hidrofóbicas y puentes disulfuro	Se emplean en alimentos cárnicos, pastas, productos horneados; para mejorar sus propiedades reológicas

A nivel superficial	Emulsión	Adsorción de formación de película en la interface	Se adicionan a sopas, aderezos, bizcochos, salsas, embutidos; para estabilizar las emulsiones aceite en agua
	Formación de espumosa	Adsorción en la interface y formación de película	Se emplean en productos de panificación, helados, confitería, crema batida; consiguiendo productos más aireados y ligeros

Nota: Zamora Vega, R., Reséndiz Vega, F., & Maya Cortés, D. (2020).

Tendencias en los procesos de transformación de la quinua

La mayor parte de la quinua es consumida en forma de semilla entera pulida, así es mencionado por Vega-Galvez *et al.* (2010). Uno de los procesos más importantes es la eliminación de las saponinas amargas encontradas en el pericarpio, para lo cual se utiliza un método tradicional que es el lavado manual, Scanlin *et al.* (2017) hace referencia al tostado de las semillas antes del lavado lo cual podría servir en la eliminación de las saponinas. Estos mismos autores expresan que la semilla pulida, está lista para su cocción, consumo o para el procesamiento en ingredientes comerciales como: pasteurizado, secado al tambor, extruidos, copos entre otros.

En la quinua, como en otros cereales, se realizan procesos de transformación con el fin de obtener alimentos aptos para el consumo humano y animal, estos pueden ser: hidrolizados, concentrados, bebidas, aislados entre otros. A continuación, se relaciona y se describe 3 de los procesos más comunes que se realizan actualmente para la obtención de alimentos a partir de la proteína de quinua.

Proceso de hidrolizado proteico en la quinua

Quelal *et al.* (2019) describe el proceso que realizaron para obtener un hidrolizado proteico de quinua, en donde fue implementado la aplicación enzimática de papaína en diferentes concentraciones y temperaturas, obteniendo finalmente valores que demuestran potencialidad del hidrolizado proteico en la elaboración de fórmulas alimenticias para industrias de alimentos o en ingestas con regímenes especiales.

Para iniciar el proceso de hidrolizado proteico de quinua, Quelal *et al.* (2019) partió de la recepción de semillas de quinua, siendo sometidas a un proceso de limpieza y clasificación, seguidamente fueron secadas con aire caliente forzado a 75⁰C durante 8 horas. Después, los granos desaponificados se molieron y se tamizaron, alcanzando el tamaño de las partículas deseadas (250um) desengrasándolas con hexano grado reactivo por 24 horas, lo que permite mejor el grado de extracción de la proteína; luego la harina de quinua fue sometida a un proceso de secado durante 2 horas a 60⁰C, finalmente las muestras se empacaron y se almacenaron en un lugar seco.

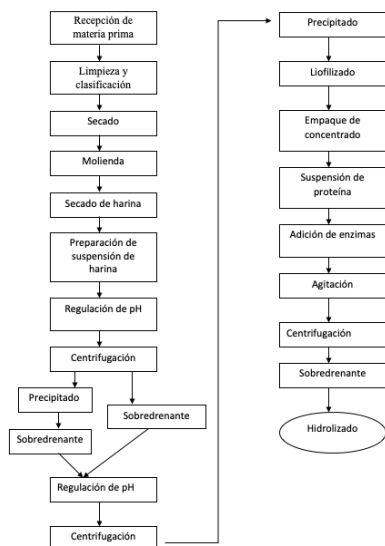
Para la obtención de la proteína, Quelal *et al.* (2019) se basaron en la metodología descrita por Villacre *et al.* (2001) realizando algunas variaciones. Quelal *et al.* (2019) procedieron a la solubilización alcalina preparando una suspensión de harina utilizando agua destilada, regulando el pH con una solución de 1N de Na OH hasta llegar a un pH 9. La suspensión se agitó durante 1 hora, se centrifugaron las muestras por 15 minutos, para luego rescatar el sobrenadante en una primera extracción, con el precipitado se repite el mismo proceso obteniendo una segunda extracción y el sobrenadante respectivo. Para la precipitación isoelectrica se utilizó los sobrenadantes obtenidos, regulando el pH con ácido cítrico y clorhídrico hasta llegar a 4.5, luego las muestras se centrifugaron descartando sobrenadante y dejando el precipitado. El precipitado fue lavado con agua destilada y luego

fue liofilizado, para luego proceder a empacar las muestras en fundas de polietileno. Se evaluó así el contenido de proteína, determinando el rendimiento del concentrado por la diferencia de peso.

Para la preparación de la proteína hidrolizada, utilizaron el concentrado de proteína, realizando una suspensión de agua destilada. Para la hidrólisis enzimática se trabajó con temperaturas de 50 °C y 65 °C, un pH de 5.5 y 6.5 y las dos enzimas de papaína (0.0795; 0.159UA/g de enzima). Este procedimiento de hidrólisis se llevó a cabo en un lapso de 3 horas con agitación constante; la inactivación de las enzimas fue efectuada a 92 °C durante 10min, pasando seguidamente por un proceso de centrifugación, obteniendo el sobrenadante que se liofilizo, dando como resultado el hidrolizado de proteína, el que fue almacenado en fundas de polietileno.

Figura No. 18

Diagrama de flujo del proceso para la obtención de hidrolizado de proteína de quinua.



Nota: elaboración propia a partir de los planteamientos de Quelal *et al.* (2019)

Quelal *et al.* (2019) obtuvieron en su investigación un hidrolizado por medio de la aplicación enzimática de papaína en diferentes concentraciones y temperatura, con una concentración de 0,159 UA/g enzima y pH 6.5 lo cual permitió alcanzar una tasa de hidrólisis del 13%, un contenido de proteína de 73,4 g/100g, una tasa de digestibilidad 87,7% y un excelente perfil de aminoácidos esenciales, los cuales están dentro del patrón de requerimiento establecidos para niños según la FAO; obtuvieron valores de dispersibilidad de 83,7, solubilidad de proteína 85,3% capacidad espumante del 125%, capacidad de retención de agua 0,33g/g de proteína y retención de aceite 0,56g/g proteína. Estos autores concluyen que estos valores mencionados demuestran la potencialidad del hidrolizado proteico en la elaboración de fórmulas alimenticias para dietas con regímenes especiales o como ingrediente en la industria alimenticia.

Proceso de aislado de proteína de quinua

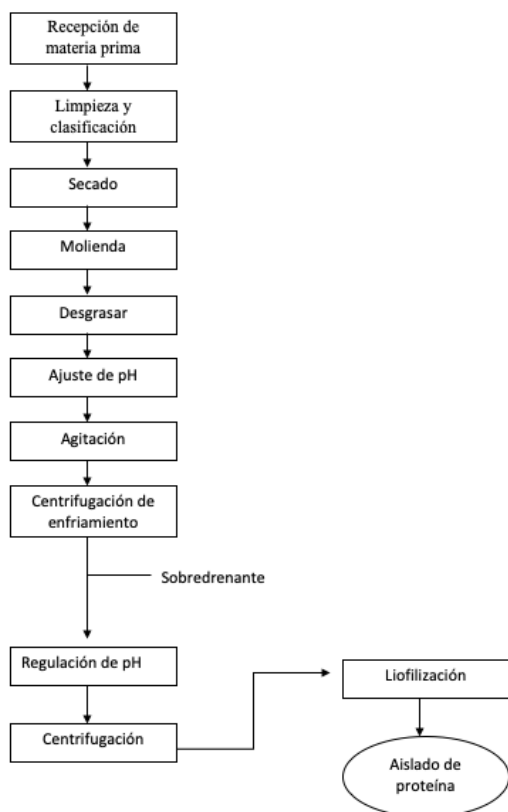
Para el aislado de proteínas se realizan diversos procedimientos, adaptándolos al objetivo de cada investigador. Elsohaimy *et al.* (2015) describe el procedimiento para la obtención del aislado de proteína de quinua, el cual realizaron estos autores para analizar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, evaluando el uso potencial del aislado en aplicaciones alimentarias y fabricación de productos

Para el proceso de este aislado, Elsohaimy *et al.* (2015) describen su procedimiento iniciando desde la recepción de las semillas de quinua obtenidas de una compañía egipcia de aceites naturales, en el Cairo, Egipto. Estas semillas pasaron por un proceso de limpieza y extracción de impurezas, almacenadas luego en un lugar seco. Estas semillas fueron lavadas para su eliminación de saponinas y se secaron en el horno a 45 °C durante 24 horas; seguidamente fueron molidas obteniendo la harina.

La harina se pasó por un proceso de desengrasado con cloroformo en una agitación durante 2 horas, eliminando los lípidos de la muestra. Con la harina desengrasada se realizó una suspensión en agua destilada desionizada, ajustando el pH de 5 a 10 con reactivos NaOH 0,1 N y HCl 0,1N; seguidamente la suspensión se agito durante 1 hora observando el pH para así obtener el nivel máximo de solubilización; la mezcla fue centrifugada en enfriamiento durante 30min. El sobrenadante obtenido se le ajusto el pH para la precipitación de la proteína; la suspensión fue centrifugada durante 45 min. El precipitado se liofilizo y se almaceno a -20°C para su uso posterior.

Figura No. 19

Diagrama de flujo para obtención del aislado de proteína de quinua.



Nota: elaboración propia a partir de los planteamientos de Elsohaimy *et al.* (2015)

Estos autores concluyeron que el aislado de proteína de quinua es una fuente nutritiva prometedora, llevándolo a ser candidato como un complemento alimenticio y alimento funcional.

Proceso de concentrado de proteína de quinua

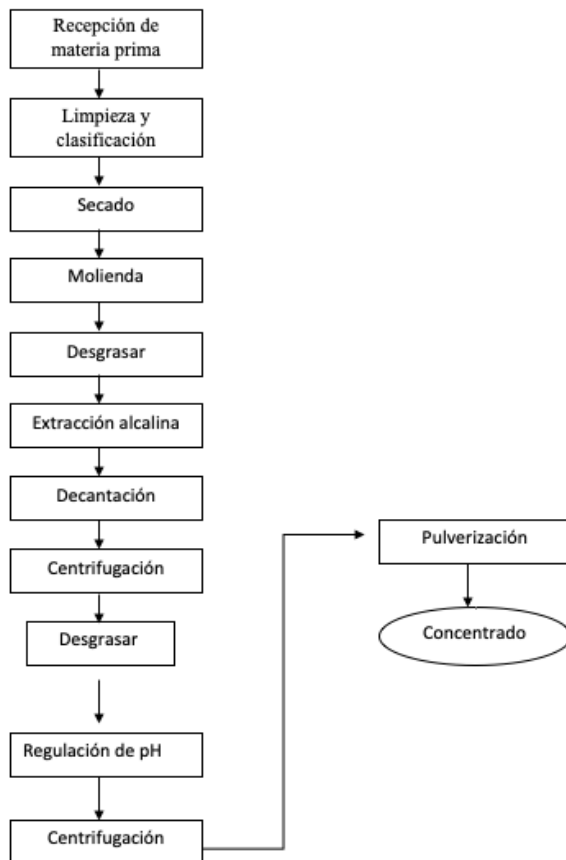
El concentrado de proteína es un proceso muy utilizado en la industria alimentaria para la obtención de alimentos de consumo animal y de consumo humano. Autores como Mir *et al.* (2021), Elsohaimy *et al.* (2015), Quela *et al.* (2019) entre otros, obtienen concentrados proteicos inicialmente para la realización de aislados e hidrolizados.

Scalin *et al.* (2017) menciona que, para la preparación del concentrado de proteína, las semillas deben identificarse con cuidado, teniendo un mínimo de daños, baja carga microbiana y de saponinas; el concentrado de proteína de quinua puede ser preparado a partir de la harina de semillas enteras o salvado rico en embriones. Estos autores explican que un sub producto como la quinua reventada, salvado tostado rico en proteínas, no es óptimo para este proceso ya que la lisina EAA se degrada con el pardeamiento de Maillard.

Scalin *et al.* (2017) describe el proceso para la obtención de concentrado de quinua en planta piloto, utilizando el método de precipitación isoelectrica modificado de Mohamed *et al.* (2000). Estos autores plantean un proceso que inicia con la obtención de 200kg de semillas de quinua, es sometido a una suspensión alcalina la cual se agito continuamente, pasando seguidamente por el decantador y la centrifugación. El sobrenadante obtenido, fue separado del almidón y la fibra, ajustando el pH para la precipitación de la proteína, siendo centrifugado. El sedimento de proteína fue secado por pulverización hasta obtener el contenido de concentrado proteína resultante de aproximadamente el 70%.

Figura No. 20

Diagrama de flujo para la obtención de concentrado de proteína de quinua.



Nota: elaboración propia a partir de los planteamientos de Scalin *et al.* (2017)

Graf *et al.* (2015) se refiere a que uno de los métodos de extracción más estudiados ha sido los concentrados de proteína, mediante hidrólisis y precipitación alcalina o enzimática. Estos autores señalan que la quinua hidrolizada mostró una mayor solubilidad proteica, la cual podría ser útil para el tratamiento de deficiencia de proteína, en el mejoramiento deportivo entre otros.

Piñuel *et al.* (2019) expresa que el proceso de germinación en semillas, se utiliza con frecuencia en la producción de concentrados de proteínas, los cuales pueden aumentar las actividades biológicas después de su hidrólisis enzimática. Los mismos autores encontraron que la quinua germinada (blanca, roja y negra) puede ser utilizada para producir un aislado proteico de buena actividad biológica, suficiente calidad y valor nutricional.

La Tabla No.33, da a conocer la síntesis de trabajos de investigación actuales, en los cuales se describen varios de los procesos de transformación de la quinua basados en las proteínas y sus propiedades funcionales.

Tabla No. 33

Desarrollos actuales en los procesos de transformación de la quinua.

Título del Artículo	Objetivo	Principales desarrollos	Conclusiones	Referencia
Mejora de las propiedades funcionales de los aislados de proteína de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) tras la aplicación de un tratamiento térmico controlado: efecto sobre las propiedades estructurales	Estudiar el impacto del tratamiento térmico en las distintas propiedades funcionales de los aislados de proteína de quinua.	Al controlarse el tratamiento térmico, se pueden producir cambios favorables en la estructura molecular de las proteínas que, a su vez, pueden impactar positivamente las características funcionales de los aislados de proteína.	*Los cambios estructurales y moleculares repercuten favorablemente en las propiedades funcionales de los aislados de proteína de quinua. Una condición ideal en los aislados de proteína de quinua y en la mayor parte de sus propiedades funcionales se produjo con el tratamiento térmico a 80 ° C durante 30 min. *Este tipo de aislados de proteínas se pueden utilizar como ingrediente nutricional en alimentos horneados, cereales	Mir <i>et al.</i> (2021).

<p>Alimentos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Procesados de manera innovadora: química, estructura y características de uso final.</p>	<p>*Evaluar las características químicas y estructurales de la proteína de la harina de quinua procesada, con el fin de examinar el efecto de la extrusión y mejorar el valor de los alimentos peruanos. *Investigar el efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades de las proteínas y la morfología de los alimentos</p>	<p>*La extrusión propició la reticulación y agregación de la proteína de quinua, disminuyó la solubilidad y la fibra insoluble, aumentó la fibra soluble. *El proceso de extrusión redujo de forma mínima el contenido de la mayoría de los aminoácidos esenciales; valina y metionina se redujeron más, pero los productos finales</p>	<p>para el desayuno y alimentos para bebés. *El proceso de extrusión y el tratamiento térmico se pueden utilizar para producir una opción alimentaria interesante a futuro. *La extrusión de harina de quinua se afecta principalmente por la temperatura y las condiciones de procesamiento. *La reticulación de proteínas se vio aumentada por la extrusión y el calentamiento posterior. *La cristalinidad del almidón se mermo luego del proceso de secado.</p>	<p>Kuktaite <i>et al.</i> (2021).</p>
--	--	---	---	---

	procesados con quinua luego de su procesamiento.	cumplieron con la legislación internacional.		
Propiedades nutricionales y tecnológicas de un extracto en polvo secado por aspersión de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	Obtener un extracto de quinua en polvo utilizando el secado por atomización que conserve su valor nutricional.	*El empleo de caudales de alimentación medio (7.5 ml/min) y temperaturas elevadas de entrada (180° C) fue la combinación ideal para obtener suficiente rendimiento de polvo, baja actividad de agua y un considerable contenido de sólidos. *La temperatura de secado afectó de	El polvo de quinua secado, obtenido por atomización, conserva el máximo valor nutricional tanto en la estructura proteica, como en contenido de ácidos grasos insaturados, antioxidantes, posibilitando de este modo su empleo como ingrediente funcional en la formulación de alimentos que están listos para el consumo.	Romano <i>et al.</i> (2020).

		forma positiva la estructura del almidón, mejoro su hinchamiento y favoreció la aglomeración moderada, multiplicando las propiedades de encapsulación de la quinua.		
Formulación de salchichas reducidas en grasa con harinas de quinua o teff: efectos sobre las características de la emulsión y la calidad del producto	Trabajar en la utilización de la harina de quinua (QF) y/ o la harina de teff (TF) para sustituir en parte la grasa de res en la formulación de embutidos tipo emulsión.	*Incluir QF y TF en las formulaciones elevó el contenido de humedad y carbohidratos, en cambio disminuyó los valores de grasa y energía. El empleo de QF aumentó eficientemente los	Los resultados permiten considerar la inclusión de estas harinas como una opción para reducir la grasa animal, optimizando las propiedades funcionales de las emulsiones y su calidad tecnológica.	Öztürk-Kerimoğlu <i>et al.</i> (2020)

		<p>contenidos de proteínas y fibra dietética.</p> <p>*El empleo de QF y TF en la formulación disminuyó la dureza y gomosidad, y así mismo la utilización de TF también redujo la masticabilidad.</p>		
<p>Determinación de la capacidad de gelificación termoendurecida de un aislado de proteína de quinua (<i>Chenopodium quinua</i>) mediante análisis reológico oscilatorio dinámico</p>	<p>Obtener y caracterizar un aislado de proteína de quinua, analizando el proceso de gelificación termoendurecida utilizando las siguientes variables y su efecto: pH 3.5 y</p>	<p>*La gelificación termoendurecida a pH 3,5 y calentamiento de 70 ° C a 90 ° C es muy efectiva para geles más fuertes siendo estable en el enfriamiento, contrario del gel formado a pH 7,0.</p>	<p>*El aislado de proteína de quinua, mostró capacidad de gelificación en las diferentes condiciones analizadas.</p> <p>*Los resultados de este estudio pueden ayudar a ganar mayor comprensión del comportamiento de gelificación de las proteínas de la quinua.</p> <p>*Conocer el efecto del calentamiento en la</p>	<p>Kaspchak <i>et al.</i> (2017)</p>

<p>7.0, concentración de proteína (10% y 15%) y la adición de cloruro de calcio o cloruro de magnesio.</p>	<p>*Los geles formados a pH 3,5 fueron más viscoelásticos y densos comparados con los formados a pH 7,0, que fueron más gruesos y presentaron sinéresis.</p> <p>*La gelificación del aislado de proteína de quinua se modifica mediante la adición de cloruro de calcio o cloruro de magnesio.</p>	<p>viscoelasticidad de las proteínas puede ser muy útil en la industria alimentaria.</p>
--	--	--

Nota: elaboración propia basado en: Mir *et al* (2021)., Kuktaitė *et al* (2021)., Romano *et al* (2020)., Ozturk- Kerimoglu *et al* (2020) y Kaspchak *et al* (2017)

Conclusiones

Luego de examinar la composición química y el valor nutricional de la quinua se concluye que este pseudocereal es un alimento excepcional, principalmente por su contenido y calidad de sus proteínas, además de su balance perfecto de aminoácidos, como también por sus carbohidratos, lípidos, minerales y vitaminas.

Los componentes bioactivos en la quinua le confieren propiedades que contribuyen a promover la salud y a prevenir enfermedades. Sus altos contenidos de compuestos fenólicos determinan su capacidad antioxidante.

La quinua y sus compuestos fenólicos han demostrado una actividad biológica importante por sus beneficios relacionados con la salud humana, actuando en la prevención de enfermedades como diabetes, enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, neurodegenerativas, artritis.

En el análisis de la quinua como alimento funcional es posible concluir que el consumo de la quinua en la dieta previene las enfermedades cardiovasculares, la hiperglucemia, la obesidad, actúa en la reducción del colesterol total y el colesterol LDL.

Se ha demostrado una contundente actividad anticancerígena relacionada con el cáncer colorrectal humano y cáncer de próstata.

Los estudios científicos han definido a la quinua como un alimento sin gluten, debido a su bajo contenido de prolaminas, apto para celíacos, sin ningún tipo de restricción, además, una opción como alimento funcional de gran valor nutritivo.

Las propiedades funcionales de las proteínas de la quinua pueden ser aprovechadas por la industria en la formulación y elaboración de nuevos productos alimenticios como parte de una nutrición y salud adecuadas. Las proteínas de la quinua se pueden utilizar en la elaboración de concentrados e hidrolizados, lo que posibilita una mayor asimilación de las

proteínas ingeridas en el organismo, aumentando su digestibilidad, específicamente para personas con regímenes especiales.

La evaluación de los procesos de transformación de la quinua, permitió conocer los principales productos obtenidos de este grano, partiendo de procesos básicos que son modificados para la obtención de alimentos funcionales para humanos y animales. Procesos como la extracción, hidrolización, tratamientos térmicos, secados por aspersion, entre otros, demostraron la versatilidad de la quinua como ingrediente principal en producción de alimentos funcionales.

Recomendaciones

De acuerdo a los resultados expuestos por varios autores en sus investigaciones, con relación a las prolaminas como proteínas de almacenamiento en la quinua en los que se evidencian diferencias, se ve necesario realizar estudios científicos que permitan evaluar la presencia o no de las prolaminas, y en caso de que existan, que se puedan cuantificar y ver su efecto real en personas celiacas.

Es necesario ampliar las investigaciones relacionadas con la quinua, dirigidas a realizar estudios in vivo para demostrar los efectos de sus compuestos bioactivos y los mecanismos de acción en el organismo humano.

Se hace indispensable y urgente una definición y legislación única sobre los alimentos funcionales por parte de los organismos internacionales encargados, para avanzar en las regulaciones y disposiciones con las que cada país debe contar. Esto podría implicar un amplio crecimiento en la demanda de los productos que se elaboran aprovechando las propiedades funcionales de la quinua y otros alimentos.

Referencias bibliograficas

- Abellán, M. S., Barnuevo, M. D., García, C., Contreras, C. J., Aldeguer, M., Soto Méndez, F., Guillén, I., Luque, A. J., Quinde, F. J., Martínez, A. & López, F. J. (2017) *Efecto del consumo de quinua (Chenopodium quinoa) como coadyuvante en la intervención nutricional en sujetos prediabéticos*. *Nutrición Hospitalaria*, 34(5), 1011–1264. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.20960/nh.843>
- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribasa, S., González, M, C., & 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 Science Direct*, (183), 83-90. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615003921?via%3Dihub>
- Abugoch, L. E., Romero, N., Tapia, C. A., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 56(12), 4745-4750. <https://doi.org/10.1021/jf703689u>
- Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M. C., Gajardo, P., & Villarroel, A. (2009). Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International journal of food science & technology*, 44(10), 2013-2020. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x>
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D. & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>

- Alán, P (2019). Bioactive compounds incorporated into functional beverages. Functional and medicinal beverages. The science of beverages, Volume 11, 109-155. www.scopus.com
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00004-2>
- Aloisi, I., Parrotta, L., Ruiz, K. B., Landi, C., Bini, L., Cai, G., Biondi, S. & Del Duca, S. (2016). New insight into quinoa seed quality under salinity: changes in proteomic and amino acid profiles, phenolic content, and antioxidant activity of protein extracts. *Frontiers in plant science*, 7 (656), 25-31.
<https://doi:10.3389/fpls.2016.00656>
- Aluko, RE & Monu, E. (2003). Functional and Bioactive Properties of Quinoa Seed Protein Hydrolysates. *Journal of Food Science*, 68 (4), 1254-1258.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09635.x>
- Álvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, EK & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Science Direct*, (119), 770-778.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814609009212>
- Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro (2001). En Ayala, G. Ortega, L., Moron, C. (Eds.). Cap VIII: Valor nutritivo y usos de la quinua. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) (pp.246-279) CONDESAN. Santiago, Chile.
http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap8_1.htm#4
- Ando, Hitomi; Chen, Yi Chun; Tang, Hanjun; Shimizu, Mayumi; Watanabe, Katsumi and Mitsunaga, Toshio. (2002). Food components in fractions of quinoa seed. *Food Science and Technology Research*, 8(1), 80-84. <https://doi.org/10.3136/fstr.8.80>

- Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Honninger, M Piatti, & Piatti, C. (2020). Quinoa (*chenopodium quinoa willd.*): An overview of the potentials of the “golden grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9 (2).
<http://doi:10.3390/foods9020216>
- Antonio, C., Lourdes, B., Reyes, B., & Amparo, A. (2018). Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – A review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, (68), 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.009>
- Aranceta, J; Blay, C, Guadalupe; Echeverria, F, J; Gil, I; Hernandez, M; Iglesias, J, R; & Lopez, M. (2011). Guía de buena práctica clínica en Alimentos Funcionales. Ministerio de sanidad, política social e igualdad. Organización médica colegial de España. https://www.cgcom.es/sites/default/files/gbpc_alimentos_funcionales.pdf
- Arneja, I., Tanwar, B., & Chauhan, A. (2015). Nutritional composition and health benefits of golden grain of 21 st Century, Quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*): A review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14 (12), 1034-1040.
https://www.researchgate.net/profile/Beenu_Tanwar2/publication/288685952_Nutritional_Composition_and_Health_Benefits_of_Golden_Grain_of_21st_Century_Quinoa_Chenopodium_quinoa_willd_A_Review/links/568b736c08ae1e63f1fc50fa/Nutritional-Composition-and-Health-Benefits-of-Golden-Grain-of-21st-Century-Quinoa-Chenopodium-quinoa-willd-A-Review.pdf
- Aschemann-Witzel, J., Varela, P. & Peschel, AO (2019). Categorización de los consumidores de los ingredientes alimentarios: ¿Los consumidores los perciben como esperan los productores de 'etiqueta limpia'? Una exploración con mapeo

proyectivo. *Calidad y preferencia alimentaria* . 71, 117-128.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950329318300405>

Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Tendencias y perspectivas de comercio internacional de quinua*. <http://www.fao.org/3/a-i3583s.pdf>

Beatriz A., Acosta-Estrada Janet A., Gutiérrez-Uribe Sergio O., & Serna-Saldívar. (2014). Fenólicos ligados en los alimentos, una revisión. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>

Beltrán De Heredia, M. R. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*. 30(3), 12-14. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionales-X0213932416546681>

Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, (23), 1-9. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v23/1405-888X-tip-23-e20200244.pdf>

Bergamo, P., Maurano, F., Mazzarella, G., Iaquinto, G., Vocca, I., Rivelli, A.R., De Falco, E., Gianfrani, C., & Rossi, M. (2011). Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from glutenfree grains in relation to celiac disease.

Molecular Nutrition & Food Research, 55, (8) 1266-1270.

<https://doi.org/10.1002/mnfr.201100132>

- Bergesse, A. E., Boiocchi, P. N., Calandri, E. L., Cervilla, N. S., Gianna, V., Guzmán, C. A., Miranda, P.P., Montoya, P. A. & Mufari, J. R. (2015). Aprovechamiento integral del grano de Quinoa. Aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales. *Repositorio Digital UNC*. <http://hdl.handle.net/11086/1846>
- Bernuy, N., Villanueva, M., Suárez, S., & Vilchez, C. (2018). Influencia del consumo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) sobre la acumulación del tejido adiposo y actividad antioxidante en tejidos de ratas obesas. *Archivo latinoamericano de nutrición ALAN*, 68. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2018/2/art-3/>
- Bigliardi, B., & Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: the case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2), 118-129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224413000678>
- 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) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620327904>
- Bing, Zhang., Yujing, Zhang., Hongyan, Lia., Zeyuan, Denga., & Rong, Tsao. (2020). A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 105. 347-362. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.029>
- Bohn, T., McDougall, GJ., Alegría, A., Alminger, M., Arrigoni, E., Aura, A-M., Brito, C., Cilla, A., El, SN, Karakaya, S., Martínez - Cuesta, MC & Santos, CN (2015), Mind the gap—deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of

phytochemicals and their metabolites—a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. *Molecular Nutrition Foods Research*, 59: 1307-1323.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.201400745>

Bohórquez Fajardo, R. (2016.). *Determinación de actividad antioxidante de extractos de hojas de Diplostegium phyllicoides (Kunth) Wedd.* [Trabajo de grado, Universidad de ciencias aplicadas y ambientales ADCA] Repositorio UDCA.

[https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/591/Determinaci%
c3%b3n%20de%20actividad%20antioxidante%20Displostephuium%20philyciode.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/591/Determinaci%c3%b3n%20de%20actividad%20antioxidante%20Displostephuium%20philyciode.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Bonilla, H., Carbajal, Y., Gonzales, M., Vásquez, V. & López, A. (2019). Determinación de la actividad insecticida de la saponina de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en larvas de *Drosophila melanogaster*. *Scientia Agropecuaria*, 10 (1), 39-45.

<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.04>

Boye, J., Wijesinha-Bettoni, R., & Burlingame, B. (2012). Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition*, 108 (2), 183-211.

<https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>

Brinegar, C., & Goundan, S. (1993). Isolation and characterization of chenopodin, the 11S seed storage protein of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(2), 182-185. <https://doi.org/10.1021/jf00026a006>

Brinegar, C., Sine, B., & Nwokocha, L. (1996). High-cysteine 2S seed storage proteins from quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(7), 1621-1623. <https://doi.org/10.1021/jf950830>

- Burrieza, H. P., Rizzo, A. J., Vale, E. M., Silveira, V., & Maldonado, S. (2019). Shotgun proteomic analysis of quinoa seeds reveals novel lysine-rich seed storage globulins. *Food chemistry*, (293), 299-306.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.098>
- Capraro, J., De Benedetti, S., Di Dio, M., Bona, E., Abate, A., Corsetto, P. A., & Scarafoni, A. (2020). Characterization of chenopodin isoforms from quinoa seeds and assessment of their potential anti-inflammatory activity in caco-2 cells. *Biomolecules*, 10 (5), 795. <https://doi.org/10.3390/biom10050795>
- Carbajal Azcona, Á. (2013). *Manual de nutrición y dietética*. [Monografía, Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense Madrid] E-Prints Complutense. Archivo digital. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/22755/>
- Carbonell - Capella, JM., Buniowska, M., Maria, B., & Frígola, A. (2014). Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, (13), 155-171. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12049>
- Cárdenas, M. (1944). Descripción preliminar de las variedades de *Chenopodium quinoa* de Bolivia. *Revista de Agricultura*. Universidad Mayor San Simón de Cochabamba (Bol.) Vol, 2, 13-26. <http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Cárdenas Robles, M. (2015). *Desarrollo metodológico de la técnica cuprac mediante determinaciones electroquímicas y preparación de un electrodo modificado químicamente para evaluar propiedades antioxidantes*. [Tesis Doctoral, Centro de investigación y desarrollo tecnológico].
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:q18ElugKFvkJ:https://cid>

eteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/355/1/Desarrollo%2520metodol%25C3%25B3gico%2520de%2520la%2520t%25C3%25A9cnica%2520cuprac%2520mediante%2520determinaciones%2520electroqu%25C3%25ADmicas%2520y%2520preparaci%25C3%25B3n%2520de%2520un%2520electrodo%2520modificado%2520qu%25C3%25ADmicamente%2520para%2520evaluar%2520propiedades%2520antioxidantes.pdf+%&cd=15&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

- Carcea, M., Narducci, V., Turfani, V., & Giannini, V. (2017). Polyphenols in Raw and Cooked Cereals/Pseudocereals/Legume Pasta and Couscous. *Foods*, 6 (9). 80
<https://doi.org/10.3390/foods6090080>
- Castro-Alba, V., Lazarte, CE., Perez - Rea, D., Carlsson, N.-G., Almgren, A., Bergenståhl, & B. Granfeldt, Y. (2019), Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (99), 5239-5248. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9793>
- Cerdán-Leal, M. A., López-Alarcón, C. A., Ortiz-Basurto, R. I., Luna-Solano, G., & Jiménez-Fernández, M. (2020). Influence of heat denaturation and freezing–lyophilization on physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Cereal Chemistry*. 107, 2411-2502 <https://en.x-mol.com/paper/article/1247942718714482688>
- Cesarettin, A., Bradley Bolling, S., Won Young Oh., & Fereidoon Shahidi. (2021). Specialty seeds: Nutrients, bioactives, bioavailability, and health benefits: A comprehensive review. *Wiley online library*, 20 (3). 2382-2427.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12730>

- Chauhan, GS, Eskin, NAM, Tkachuk, R. (1992). Nutrientes y antinutrientes en la semilla de quinua. *Cereal Chem*, 69 (85-88).
https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1992/documents/69_85.pdf
- Chito Trujillo, D, M., Ortega Bonilla, R, A. y Ahumada Mamián, A, F. & Rosero López, B. (2017). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) versus soja (*Glycine max* [L.] Merr) en la nutrición humana: revisión sobre las características agroecológicas, de composición y tecnológicas. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(2), 184-198. <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.21.2.256>
- Coila Enriquez, G. S. (2020). *Aporte de aminoácidos esenciales en mezclas alimenticias de origen vegetal por métodos computacionales* [Trabajo de grado Bachiller, Universidad Peruana Unión]. Archivo digital.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3387>
- Cordero, C. C., & Jarma Orozco, A. (2017). Productos de la asimilación del nitrato se depositan en las plantas como proteínas de almacenamiento. *Biblioteca Digital Universidad de Córdoba*.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/450>
- Cordero, C. C., & Orozco, A. J. (2011). Productos de la asimilación del nitrato se depositan en plantas como proteínas de almacenamiento. *Revista Temas Agrarios*, 16(1), 9-23.
<https://doi.org/10.21897/rta.v16i1.680>
- Coronado, M., Vega, S., Gutiérrez, R, L., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-75182015000200014&script=sci_arttext&tlng=e

- Cotabarren, J., Obregon, W, D. & Lorenzo, J. (2019) *Estudio de inhibidores peptídicos de proteasas aisladas de alimentos de origen vegetal: potenciales aplicaciones como agentes anticoagulantes, anti-infectivos naturales y capacidad protectora del Factor de Crecimiento Epidérmico* [Tesis Doctoral Centro Científico Tecnológico – CONICET, La Plata]. Repertorio Institucional CONICET Digital.
<http://hdl.handle.net/11336/80348>
- Craine, E. B., & Murphy, K. M. (2020). Corrigendum: Seed Composition and Amino Acid Profiles for Quinoa Grown in Washington State. *Frontiers in Nutrition*, 7, (126),
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.605674>
- Dai Shi, Marília Fidelis, Yikai Ren, Andrea K. Stone, Yongfeng Ai, Michael T. Nickerson (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, 0963-9969.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108799>.
- Daza, R., Burin, D., Pereyra, E. & Heras, A. I. (2015). *Quinua, regalo ancestral: historia, contexto, tecnología, políticas*. Palpala: Ediciones Nueva Gestión.
<https://www.aacademica.org/david.burin/34>
- De Carvalho, F. G., Ovídio, P. P., Padovan, G. J., Jordao Junior, A. A., Marchini, J. S., & Navarro, A. M. (2014). Metabolic parameters of postmenopausal women after quinoa or corn flakes intake—a prospective and double-blind study. *International Journal of Food sciences and nutrition*, 65 (3), 380-385. <https://www.tandfonline.com/bibliotecavirtual.unad.edu.co/doi/full/10.3109/09637486.2013.866637>
- D.G. Meza-Hernández, L.G. Perez Trujillo, E.E. Lozano Bernal, R.Flores Alemán, C. T. GallardoRivera, J.G. Báez-González, K. G. García-Alanís, C.A. Amaya-Guerra

- (2018) Caracterización de espumas aplicadas en la panificación: Propiedades reológicas y estabilidad. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3, 29-34 <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/1/6.pdf>
- Díaz S., Jorge (ed.) (2019). *Quinoa del sur de Chile. Alternativa productiva y agroindustrial de alto valor*. [Monografía, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Carillanca] Temuco: Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuaria. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/libros/NR41932.pdf>
- Dirección general de salud pública y Alimentación (Ed) (2011). *Alimentos funcionales: aproximación a una nueva alimentación*. Coordinación de la edición Subdirección General de alimentos <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM009703.pdf>
- Di Wu; Maolin Tu; Zhenyu Wang; Chao Wu; Cuiping Yu; Maurizio Battino ; Hesham R; & El- Seedi Ming Du (2020). Biological and conventional food processing modifications on food proteins: Structure, functionality, and bioactivity. *Science Direct*. 40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975019301910?via%3Dihub>
- El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., El Kacimi, K. & Yasri, A. (2020). An Insight into Saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A Review. *Molecules MDPI*, 25 (5), 1059. <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>
- Elizalde, A. D.D, Pismag P.Y., Chaparro, D. C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/703>

- 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. doi:10.1016/j.aogas.2015.10.007
- Errecart, V. (2019). El mercado internacional de la Quinoa: comentarios sobre la experiencia de Bolivia. *CERE - Centro de Economía Regional, Universidad nacional de san Martín*,(65),1-19.
http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/EI%20mercado%20de%20la%20Quinoa%20N%C2%BA65.pdf
- Escamilla JCI., Cuevas MEY., & Guevara FJ. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista Facultad Medicina UNAM*, 52(2), 73-75.
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=19578>
- Escribano, J., Cabanes , J., Jiménez-Atiénzar, M., Ibañez-Tremolada, M., Gómez-Pando, L., García-Carmona, F., & Gandía-Herrero, F. (2017). Characterization of betalains, saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (Chenopodium quinoa) varieties. *Food Chemistry Science Direct*, (234), 285-294.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617307756>
- Fairbanks, D. J., Burgener, K. W., Robison, L. R., Andersen, W. R., & Ballon, E. (1990). Electrophoretic Characterization of Quinoa Seed Proteins. *Plant Breeding*, 104(3), 190– 195. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1990.tb00422.x>
- Farinazzi-Machado, F. M. V., Barbalho, S. M., Oshiiwa, M., Goulart, R., & Pessan Junior, O. (2012). Use of cereal bars with quinoa (Chenopodium quinoa W.) to reduce risk factors related to cardiovascular diseases. *Food Science and Technology*, 32(2), 239-244. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000040>

- Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618-1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>
- Florian Hübner & Elke K. Arendt (2013) Germination of Cereal Grains as a Way to Improve the Nutritional Value: A Review. *Food Science and Nutrition*, 53 (8), 853-861. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2011.562060>
- Food and agriculture organization of the united nations. (2011). Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition Report of an FAO Expert Consultation. <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>
- Food and agriculture organization of the united nations. (2017). Cultivos. *Faostat*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Foucault, A., Even, P., Lafont, R., Dioh, W., Veillet, S., Tomé, D., Quignard-Boulangé, A. (2014). Quinoa extract enriched in 20-hydroxyecdysone affects energy homeostasis and intestinal fat absorption in mice fed a high-fat diet. *Physiology and Behavior*, 128, 226-231. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0031938414000602?via%3Dihub>
- Frontela, C., García-Alonso, F. J., Ros, G., & Martínez, C. (2008). Phytic acid and inositol phosphates in raw flours and infant cereals: The effect of processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(4), 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.02.003>
- Gallego Londoño, V., Arango Villa, S., Ospina Medina, L., Arango Valencia, V., & Cardona Maya, W. (2014). Actividad espermicida de saponinas esteroidales y

- triterpénicas extraídas de diferentes plantas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19 (1), 76-84. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962014000100010&script=sci_arttext&tlng=en
- Gámez-Villazana, J. (2020). Avances en la determinación de compuestos Bioactivos en Alimentos. *Revista Agrollania de Ciencia y Tecnología*, (19).
87.216.84/index.php/agrollania/article/view/960
- Gao, K., Zhang, W. T., Tang, Y., Li, X. H., & Rong, T. (2016). Phenolic composition and antioxidant activities in Canada's quinoa. *Food and Fermentation. Industries*, 42(7), 107–113. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201607019>.
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Sułkowski, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyz, J. (2013). Antioxidant and anticancer activities of chenopodium quinoa leaves extracts - in vitro study. *Food and Chemical Toxicology*, 57, 154-160.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23537598/>
- Ghumman, A., Mudgal, S., Singh, N., Ranjan, B., Kaur, A., & Rana, J. C. (2021). Physicochemical, functional and structural characteristics of grains, flour and protein isolates of indian quinoa lines. *Food Research International*, 140.
[https://www.sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0963996920310073?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0963996920310073?via%3Dihub)
- Gilani, G. S., Xiao, C. W., & Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition*, 108 (2), 315-332.
<https://doi.org/10.1017/S0007114512002371>

- Gil-Chávez, J., Villa, J A., Ayala-Zavala, F., David- Sepulveda, B., Yahia, E., & González-Aguilar, G A (2013). Technologies for Extraction and Production of Bioactive Compounds to be Used as Nutraceuticals and Food Ingredients: An Overview. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, 12, 5-23. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12005>
- Gómez (2020) bromatología: propiedades funcionales proteína (emulsión espuma) <https://www.youtube.com/watch?v=VWVEaAreBb8&t=605s>
- Gómez-Caravaca, A. M., Iafelice, G., Lavini, A., Pulvento, C., Caboni, M. F., & Marconi, E. (2012). Phenolic Compounds and Saponins in Quinoa Samples (Chenopodium quinoa Willd.) Grown under Different Saline and Nonsaline Irrigation Regimens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(18), 4620–4627. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf3002125>
- Gómez-Caravaca, A. M., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Caboni, M. F. (2011). Simultaneous Determination of Phenolic Compounds and Saponins in Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) by a Liquid Chromatography–Diode Array Detection–Electrospray Ionization–Time-of-Flight Mass Spectrometry Methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(20), 10815–10825. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf202224j>
- González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. G., y Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista salud pública y nutrición*, 8(2), 1-7. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2007/spn072g.pdf>
- Gorinstein, S., Lojek, A., Číž, METRO., Pawelzik, MI., Delgado-ligon, MI., Medina, D., Moreno, M., Salas., & I A, Goshev. (2008). Comparación de composición y capacidad antioxidante de algunos cereales y pseudocereales. *Revista internacional*

de ciencia y tecnología de los alimentos, 43: 629-637.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01498.x>

Graf, BL, Rojas-Silva, P., Rojo, LE, Delatorre-Herrera, J., Baldeon, ME & Raskin, I.

(2015). Innovaciones en valor para la salud y alimentos funcionales

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>

Graf, B., Rojas - Silva, P., Rojo, L., Delatorre - Herrera, J., Baldeón, M., &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), 431-445. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12135>

Guzmán, V., & Caldera, Y. (2019) *Compuestos Bioactivos en Alimentos Funcionales y*

Suplementos Alimenticios: Rol en la Salud, Prevención de Enfermedades y

Regulación en Latinoamérica y El Mundo. [https://ilsinorandino.org/wp-](https://ilsinorandino.org/wp-content/uploads/sites/16/2020/03/Compuestos-Bioactivos2020.pdf)

[content/uploads/sites/16/2020/03/Compuestos-Bioactivos2020.pdf](https://ilsinorandino.org/wp-content/uploads/sites/16/2020/03/Compuestos-Bioactivos2020.pdf)

Han, Y., Chi, J., Zhang, M., Zhang, R., Fan, S., Dong, L., Huang, F. & Liu, L. (2019).

Changes in saponins, phenolics and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium*

quinoa willd) during milling process. *Science Direct*, 114.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108381>

Haros, Claudia, M; Schonlechner, Regine (Ed) (2017). *Pseudocereals in Gluten-Free*

Products. Editorial wiley online library.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118938256.ch9>

Heiser, C. B., & Nelson, D. C. (1974). On the origin of the cultivated chenopods

(*Chenopodium*). *Genetics*, 78(1), 503-505.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1213209/>

- Hemalatha, P., Bomzan, D. P., Sathyendra Rao, B. V., & Sreerama, Y. N. (2016). Distribution of phenolic antioxidants in whole and milled fractions of quinoa and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities. *Food Chemistry*, 199, 330–338.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615303034>
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: a review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27-47.
<https://www.ffhdj.com/index.php/BioactiveCompounds/article/view/556/1191>
- Herrera Chalé, F., Betancur Ancona, D., & Segura Campos, M. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29 (1), 10-20. <http://www.aulamedica.es/nh/pdf/6990.pdf>
- Hirose, Y., Fujita, T., Ishii T., & Ueno, N. (2010) Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry Science Direct*, (119), 1300-1306.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814609010401?via%3Dihub>
- Huang D, Ou B, Prior RL. (2005) The chemistry behind antioxidant capacity assays. *National library of Medicine*, 53(6), 1841-56.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15769103/>
- Hu Yi Chen., Zhao Gang., Qin Peiyou., Cheng Yanfen., Cao Yanan., Zou Liang., & Ren Guixing (2018). Research Progress on Bioactive Components of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Acta Agronómica Sílica*, 44 (11), 1579-1591.

[http://zwx.chinacrops.org/EN/10.3724/SP.J.1006.2018.01579?WebShieldDRSessi
onVerify=eKlktFbbq0aMPRU3wFK1](http://zwx.chinacrops.org/EN/10.3724/SP.J.1006.2018.01579?WebShieldDRSessi
onVerify=eKlktFbbq0aMPRU3wFK1)

Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), 2018. Boletín Electrónico Bimestral N°701, Bolivia. <http://ibce.org.bo/publicaciones-ibcecifras-pdf.php?id=645>

Isaza M.,(2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, XIII (33),13-18 ISSN: 122-1701. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903303.pdf>

Jacobsen, S. E. (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food reviews international*, 19(1-2), 167-177. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>

Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandar, A. (2009). Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71-79.

https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/32_2008-CJFS.pdf

Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, KJ, Deleu, LJ & Delcour, JA (2017), Proteínas de Amaranto (*Amaranthus* spp.), Alforfón (*Fagopyrum* spp.) Y Quinoa (*Chenopodium* spp.): Una perspectiva de la ciencia y la tecnología de los alimentos. *Revisiones integrales en ciencia de los alimentos y seguridad alimentaria*, 16: 39-58. <http://doi:10.1111 / 1541-4337.12240>

Johnson, L. A., LA, J., EF, H., & RC, H. (1979). Bovine plasma as a replacement for egg in cakes.

<https://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL8010171699>

Joint, F. A. O. WHO/UNU Expert Consultation (1985) Energy and Protein Requirements. *Geneva: World Health Organization*.

<http://www.fao.org/3/aa040e/aa040e00.htm>

- Joye, I. (2019). Digestibilidad proteica de productos de cereales. *Foods*, 8 (6), 199.
<http://dx.doi.org/10.3390/foods8060199>
- Kårlund, A., Gómez-Gallego, C., Korhonen, J., Palo-Oja, O. -, El-Nezami, H., & Kolehmainen, M. (2020). Harnessing microbes for sustainable development: Food fermentation as a tool for improving the nutritional quality of alternative protein sources. *Nutrients*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/nu12041020>
- Kaspchak, E., Oliveira, M. A. S. D., Simas, F. F., Franco, C. R. C., Silveira, J. L. M., Mafra, M. R., & Igarashi-Mafra, L. (2017). Determination of heat-set gelation capacity of a quinoa protein isolate (chenopodium quinoa) by dynamic oscillatory rheological analysis. *Food Chemistry*. 232, 263-271. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.014
- Kiran Tadapaneni, R., Daryaei, H., Krishnamurthy, K., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. (2014). High-Pressure Processing of Berry and Other Fruit Products: Implications for Bioactive Compounds and Food Safety. *ACS Publications*, 62 (18), 3877-3885. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf404400q>
- Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Journal of food composition and analysis*, 5(1), 35-68. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6).
- Kuktaite, R., Repo-Carrasco-Valencia, R., de Mendoza, C. C. H., Plivelic, T. S., Hall, S., & Johansson, E. (2021). Innovatively processed quinoa (chenopodium quinoa willd.) food: Chemistry, structure and end-use characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, doi:10.1002/jsfa.11214
- Lazarte, CE, Carlsson, NG, Almgren, A., Sandberg, A.-S., Granfeldt, Y. (2015). Contenido de fitato, zinc, hierro y calcio de la comida boliviana común e implicaciones para la

- biodisponibilidad mineral. *Journal of Food Composition and analysis*, 39, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.015>
- Leguía Damiano, S. (2018). *Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de tres variedades de quinua germinada (chenopodium quinua willd)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas] Repositorio Unajma. http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/419/Saida_Tesis_Bac_hiller_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lim, J. G., Park, H., & Yoon, K. S. (2020). Analysis of saponins composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (chenopodium quinoa willd.). *Food Science and Nutrition*, 8(1), 694-702. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.1358>
- Lindeboom, N. (2005). *Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (chenopodium quinoa willd.)* (Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy). <https://core.ac.uk/download/pdf/226122588.pdf>
- Liu, M., Zhu, K., Yao, Y., Chen, Y., Guo, H., Ren, G., Yang, X., & Li, J. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of phenolic compounds from white, red, and black Chenopodium quinoa seed. *Cereal Chemistry, Wiley Online Library*, (97), 703-713. <https://doi.org/10.1002/cche.10286>.
- Liyana-Pathirana, Ch., Dexter, J., & Shahidi, F. (2006). Antioxidant Properties of Wheat As Affected by Pearling. *ACS Publication*, 54 (17), 6177-6184. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf060664d>

- López, D. N., Galante, M., Raimundo, G., Spelzini, D., & Boeris, V. (2019). Functional properties of amaranth, quinoa and chia proteins and the biological activities of their hydrolyzates. *Food Research International*, *116*, 419-429. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0963996918306689?via%3DiHub>
- Lung'aho, M., Fenta, A. B., Wanderi, S., Otim, A., Mwaba, C., Nyakundi, F., & Abang, M. M. (2020). Protein and amino acid composition of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Ethiopia, Kenya, Uganda, and Zambia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, *20*(5), 16563-16584. <https://doi.org/10.18697/ajfand.93.19960>
- L. Scanlin, K.A. Lewis, Chapter 14 (2017)- Quinoa as a Sustainable Protein Source: Production, Nutrition, and Processing, Editor(s): Sudarshan R. Nadathur, Janitha P.D. Wanasundara, Laurie Scanlin, Sustainable Protein Sources, Academic Press, 223-238. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00014-7>.
- Madhujith, T., Izydorczyk, M., & Shahidi, F. (2006). Antioxidant Properties of Pearled Barley Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54* (9), 3283-3289. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0527504>
- Maradini, F. A., Ribeiro, M., Tomaz Da Silva, J., Pinheiro, H., Paez, J., & Dos Reis, J. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(8), 1618-1630. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2014.1001811?journalCode=bfsn20>

- Marañón-Ruiz, V. F., Rizo de la Torre, L. D. C., & Chiu-Zarate, R. (2011). Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z. *Superficies y vacío*, 24(4), 113-120.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-35212011000400002&lng=es&nrm=iso.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137 (4), 40-57
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32035214/>
- Márquez Lara, D., & Suárez Londoño, Á. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(16), 87-109. <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv/vol1/iss16/7/>
- Martínez Domínguez, Beatriz, Ibáñez Gómez, M^a Victoria, & Rincón León, Francisco. (2002). Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(3), 219-231.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000300001&lng=es&tlng=es.
- Martínez- Valverde, I., Periago, M., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 50 (1).
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32035214/>

- Mattila, P., Pihlava, J., Hellström, J., Nurmi, M., Eurola, M., Mäkinen, S., Jalava, T., & Pihlanto, A (2018). Contents of phytochemicals and antinutritional factors in commercial protein-rich plant products. *Oxford Academic* 2 (4), 213-219.
<https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy021>
- Melini, V. & Melini, F. (2021). Componentes funcionales y factores anti-nutricionales en granos sin gluten: un enfoque en las semillas de quinua. *Foods*, 10 (2), 351.
<http://dx.doi.org/10.3390/foods10020351>
- Méndez-Padilla, G. (2002). Quinoa saponins: concentration and composition analysis. *Trends in new crops and new uses*. 110-114.
https://www.researchgate.net/publication/242147237_Quinoa_Saponins_Concentration_and_Composition_Analysis
- Mesa García, M. D., & Aguilera García, C. M., & Hernández, A. Gil (2006). Importancia de los lípidos en el tratamiento nutricional de las patologías de base inflamatoria. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2),30-43.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3092/309226709001>
- Millone, M. V., Olagnero, G. F., & Santana, E. C. (2011). Alimentos funcionales: análisis de la recomendación en la práctica diaria. *Diaeta*, 29 (134), 7-15.
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-591561>
- Minyi Lin., Peipei Han., Yuying Li., Weixuan Wang., Daowan Lai., & Ligang Zhou (2019). Quinoa Secondary Metabolites and Their Biological Activities or Functions. *Molecules*, 24 (13), 2512; <https://doi.org/10.3390/molecules24132512>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *En los últimos 4 años, la quinua ha tenido un crecimiento de más de 150% en áreas de producción*.
<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/En-los-%C3%BAltimos-4->

[a% C3% B1os,-la-quinua-ha-tenido-un-crecimiento-de-m% C3% A1s-del-150-en-% C3% A1reas-de-producci% C3% B3n-.aspx](#)

Mir, N. A., Riar, C. S. (2021). Effect of lysozyme infusion, high-intensity ultrasound and controlled thermal treatment on the physicochemical and functional characteristics of chenopodium album protein isolate based active packaging film. *Food Packaging and Shelf Life*, 29.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289421000545>

Miranda, J. P. H. (2019). La quinua como alternativa a la proteína animal en la desnutrición infantil. *Revista UNIANDES de Ciencias de la Salud*, 2(2), 072-081.

<https://core.ac.uk/download/pdf/235988690.pdf>

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E., López, J., Rodríguez, M, J., Henríquez, K. & Fuentes, F.(2012) Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes cultivated in Chile. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brazil)* 32(4), 835-843.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000114>

Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M., & Rizzello, C. G. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 47-58.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160518304720>

Morales, J. P. Z., Pizarro, W. J. Z., Macías, V. I. V., & Moreno, E. A. (2017). Los Aminoácidos en el cuerpo humano. *Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 1(5), 379-391. <https://doi.org/10.26820/recimundo/1.5.2017.379-391>

Morales, M. & Troncoso, A. (2012) Sustancias antinutritivas presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria.

[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=hLMEZfbh4OMC&oi=fnd&pg=PA237&dq=Morales,+M.+%26+Troncoso,+A.+\(2012\)+&ots=N3Li3Co3ut&sig=5d4Mf_v1nJf9WltV-Ndj6uV3rNo&redir_esc=y#v=onepage&q=Morales%2C%20M.%20%26%20Troncoso%2C%20A.%20\(2012\)&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=hLMEZfbh4OMC&oi=fnd&pg=PA237&dq=Morales,+M.+%26+Troncoso,+A.+(2012)+&ots=N3Li3Co3ut&sig=5d4Mf_v1nJf9WltV-Ndj6uV3rNo&redir_esc=y#v=onepage&q=Morales%2C%20M.%20%26%20Troncoso%2C%20A.%20(2012)&f=false)

- Moscoso J, Felipe, & Quera P, Rodrigo. (2016). Enfermedad celíaca. Revisión. *Revista médica de Chile*, *144* (2), 211-221. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872016000200010>
- Mota, C., Santos, M., Mauro, R., Samman, N., Matos, A. S., Torres, D., & Castanheira, I. (2016). Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry*, *193*, 55- 61. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.043>
- Motta, C., Castanheira, I., Gonzales, G. B., Delgado, I., Torres, D., Santos, M., & Matos, A. S. (2019). Impact of cooking methods and malting on amino acids content in amaranth, buckwheat and quinoa. *Journal of Food Composition and Analysis*, *76*, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.10.001>
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Marathe, J. (2001). Cultivos Andinos. Origen y descripción de la quinua. *FAO-Versión 1.0*. <http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Nanqun Zhu., Shuqun Sheng., Dajie Li., Edmond J. Lavoie., Mukund V. Karwe., Robert T. Rosen., & Chi-Tang Ho. (2007). Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*chenopodium quinoa willd*). *Journal of food Lipids*, *8* (1), 37-44. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4522.2001.tb00182.x>
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*chenopodium quinoa willd.*). *Journal of Cereal Science*, *69*, 371-376. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521016300662>

- Ninfali, P., Panato, A., Bortolotti, F., Valentini, L. & Gobbi, P. (2020). Análisis morfológico de las semillas de tres pseudocereales mediante microscopía óptica y ESEM-EDS. *Revista europea de histoquímica: EJH* , 64 (1), 3075.
<https://doi.org/10.4081/ejh.2020.3075>
- Nisar A. Mir, Charanjit S. Riar, Sukhcharn Singh, (2021). Improvement in the functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein isolates after the application of controlled heat-treatment: Effect on structural properties. *Food Structure*, 28,
<https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100189>.
- Noratto, G. D., Murphy, K., & Chew, B. P. (2019). Quinoa intake reduces plasma and liver cholesterol, lessens obesity-associated inflammation, and helps to prevent hepatic steatosis in obese db/db mouse. *Food chemistry*, 287, 107-114.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.061>
- Nowak, V., Du, Juan., Charrondièrè, Ruth. U. (2016) Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chemistry*, 193, 47-54.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>.
- Oficina Regional para América Latina y El Caribe- FAO (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*.
<http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2017). Estudio de la situación actual de la cadena comercial de la quínoa en la Región de Tarapacá. *Austral solutions*. Archivo digital.
https://www.opia.cl/static/website/601/articles-92327_archivo_01.pdf
- Ogungbenle, H. N., Oshodi, A. A., & Oladimeji, M. O. (2009). The proximate and effect of salt applications on some functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *Pakistan J Nutr*. 8 (1), 49-52.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.566.2085&rep=rep1&type=pdf>

Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A.,

Álvarez-Parrilla, E., Rosa, L. A., & Ramos-Jiménez, A. (2015). Taninos

hidrolizables: bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud.

Nutrición hospitalaria, 31(1), 55-66.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-

[16112015000100005](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112015000100005)

Osborne, T. B. (1924). The vegetable proteins. Longmans, Green and

Company. https://scholar.google.com/scholar_lookup?author=T.+B.+Osborne+&publication_year=1924&title=The+Vegetable+Proteins

Osmanlıoğlu, Ş., Gençler Ö.A. (2019). kinoa (chenopodium quinoa willd.) üzerine bir

derleme . *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University* , 43 (3) , 309-333 .

<https://doi.org/10.33483/jfpau.487757>

Öztürk-Kerimoğlu, B., Kavuşan, H. S., Tabak, D., & Serdaroğlu, M. (2020). Formulating

reduced-fat sausages with quinoa or teff flours: Effects on emulsion characteristics

and product quality. *Food Science of Animal Resources*, 40 (5), 710-721.

https://www.kosfaj.org/archive/view_article?pid=kosfa-40-5-710

Padrón, P. C. A., Oropeza, O. R. AZ., & Hernández, A. I. M. (2014). Semillas de quinua

(Chenopodium quinoa Willdenow): composición química y procesamiento.

Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología*

de Alimentos, 5(2), 166-218. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/rvcta/v5n2/art05.pdf>

Palombini, S. V., Claus, T., Maruyama, S. A., Gohara, A. K., Pereira, S. A. H., Pereira;

Souza, N. E., Visentainer, J. V., Gomes, S. T., Marques and Matsushita, M. (2013).

Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars. *Food Science and Technology*. 33(2), 339-344. Archivo digital.

<https://www.redalyc.org/pdf/3959/395940116019.pdf>

Parra, M. A. G., Leguizamón, N. Z. P., Rodríguez, D. C. C., Torrado, S. K. F., & Parra, J.

D. (2018). Descripción de las saponinas en quinua (" *Chenopodium quinoa*" willd) en relación con el suelo y el clima: Una revisión. *Informador técnico*, 82(2), 241-249. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6772857>

Paško, 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(4), 661-672.

<https://akjournals.com/view/journals/1326/20/4/article-p661.xml>

Peñarrieta, J, Mauricio., Tejada, Leslie., Mollinedo, Patricia., Vila, José L., & Bravo, José

A (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81. <https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339682006.pdf>

Peñas, E., Uberti, F., di Lorenzo, C. et al (2014) Evidencias bioquímicas e inmunoquímicas que respaldan la inclusión de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Como ingrediente sin gluten. *Plant Foods Hum Nutr.* 69, 297-303. [https://link-springer-](https://link-springer-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/article/10.1007/s11130-014-0449-2)

[com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/article/10.1007/s11130-014-0449-2](https://link-springer-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/article/10.1007/s11130-014-0449-2)

Perea- Domínguez, Xiomara P. (2013) Tesis. Análisis de compuestos fenólicos y

valoración de la bioactividad de extractos de testa de *Jatropha curcas* L. no toxica.

[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13161/Xiomara%20Patricia%20Pe-](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13161/Xiomara%20Patricia%20Perea%20Dom%C3%ADnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
[rea%20Dom%C3%ADnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13161/Xiomara%20Patricia%20Perea%20Dom%C3%ADnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., Pérez-

Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic

- profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, 111, 38-46.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.006>
- Pereira, C. A. P., González, R. A. O., & Hernández, A. I. M. (2014). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166-218.
- Pezúa Céspedes, Raul. (2017) *Digestibilidad in vitro de la proteína y la composición nutricional de tres variedades de quinua (chenopodium quinoa willd.) germinada y cocida*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jose María Arguedas, ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - PERÚ] Repositorio UNAJMA.
<http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/253>
- Piñuel L, Boeri P, Zubillaga F, Barrio DA, Torreta J, Cruz A, Vásquez G, Pinto A, Carrillo W (2019) Producción de aislados proteicos de *quinua* blanca, roja y negra (*Chenopodium quinoa* Willd Var. Real) y sus hidrolizados en germinados y muestras de quinua no germinada y evaluación de la actividad antioxidante. *Plantas*. 8 (8): 257. <https://doi.org/10.3390/plants8080257>
- Porras-Loaiza, A. P., & López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(1), 121-134.
[https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Porras-Loaiza-et-al-2009.pdf)
- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481-488.
<https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0704>

- Position of the American Dietetic Association: Functional Foods. *J Am Diet Assoc* (2009). 109, 735-746.
- Quelal, M., Nazate, K., Villacrés, E. & Cuarán, J. (2019). Obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua *Chenopodium quinoa* Willd. *Enfoque UTE*, 10(2), 79-89. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n2.424>
- Quelal, María, Nazate, Karina, Villacrés, Elena, & Cuarán, Jimmy. (2019). Obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua *Chenopodium quinoa* Willd. *Enfoque UTE*, 10 (2), 79-89. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000200079
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009&lng=es&tlng=es.
- Renard, C.M. (2018). Extraction of bioactives from fruit and vegetables: State of the art and perspectives. *LWT*, 93. 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.063>
- Carrasco-Valencia R., Hellström, J., Juha-Matti, J., & Mattila, P. (2010) Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry Science Direct*, (120), 128-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814609011662?via%3Dihub>
- Repo de Carrasco, Ritva, & Encina Zelada, Christian Rene. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua

(*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 85-99.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200002&lng=es&tlng=es.

Romano, N., Ureta, M. M., Guerrero-Sánchez, M., & Gómez-Zavaglia, A. (2020).

Nutritional and technological properties of a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) spray-dried powdered extract. *Food Research International*, 129

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32036934/>

Rodríguez J, P., Rahman, H., Thushar, S., Singh R., K.(2020). Healthy and Resilient

Cereals and Pseudo-Cereals for Marginal Agriculture: Molecular Advances for Improving Nutrient Bioavailability. *Frontiers in Genetics*, 11, (49), 1664-8021.

Rocchetti, G., Miragoli, F., Zacconi, C., Lucini, L. & Rebecchi, A. (2019). Impacto de la cocción y fermentación por bacterias del ácido láctico en el perfil fenólico de semillas de quinua y trigo sarraceno. *Food Research International*, 119. 886 - 894.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918308652>

Rojas, W., Vargas A., Pinto, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Agronomía UMSA*, 3(2), 114-124.

http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2_a01.pdf

Romo, S., Rosero, A., Forero, C., Cerón R, E. & Pérez, D, A. (2007). Potencial nutricional

de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*). *Variedad portal en los andes colombianos segunda parte*, 5 (2), 1692-356.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117954>

Rosero, O., Marounek, M., Břeňová, N. & Lukesova, D. (2013). Actividad de fitasa y

comparación de composición química, contenido de ácido fítico P de cuatro

variedades de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agronómica*, 62 (1), 13-20.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122013000100003&lng=en&tlng=en.

Ruales, J., Nair, BM (1993). Saponinas, ácido fítico, taninos e inhibidores de proteasas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chem*, 48 (2), 137-143.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030881469390048K>

Ruiz, K, B., Biondi, S., Oses, R., Acuña, R., Antognoni, F., Martinez, M. E. A., Coulibaly, A., Canahua, M. A., Pinto, M., Zurita, S. A., Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Molina, M. M. A. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy Sustainable Development*, 34, 349–359

<https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0>

Sanz, M. L. (2006). Proteínas en nutrición artificial. *Edikamet S.L*, 36 (1), 1-

21.http://fisiogenomica.com/assets/Blog/pdf/senpe_monografias_proteinas_NE3.pdf

Sapone, A; Bai JC; Ciacci, C; Dolinsek J; Green, PH; Hadjivassiliou, M; Kaukinen, K; Rostami, K; Sanders, DS; Schumann, M; Ullrich, R; Villalta, D; Volta, U; Catassi, C; & Fasano, A. (2012). Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. *Bmc medicine*. 10 (13), 1-657

<https://bmcmmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7015-10-13>

Stephen Adeniyi Adefegha (2018). Alimentos funcionales y nutraceuticos como intervención dietética en enfermedades crónicas; Nuevas perspectivas para la promoción de la salud y la prevención de enfermedades. *Journal of Dietary*

- Supplements*, 15(6), 977-1009. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1080/19390211.2017.1401573>
- Schiermeier, Q. (2019). Eat less meat: UN climate-change report calls for change to human diet. *Nature*, 572(7769), 291-292. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-02409-7>
- Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Food Chemistry*, 339. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127823
- Solíz-Guerrero, J. B., De Rodriguez, D. J., Rodríguez-García, R., Angulo-Sánchez, J. L., & Sonia Sanz Olmos, 2017. Emulsiones (I). 41, 341-344. <https://botplusweb.portalfarma.com/documentos/2017/4/11/114468.pdf>
- Steffolani, ME, Villacorta, P., Morales-Soriano, ER, Repo-Carrasco, R., León, AE & Pérez, GT (2016), Caracterización fisicoquímica y funcional de proteínas aisladas de diferentes variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *CCHEM*, 93, 275-281. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-15-0083-R>
- Stikić, R. I., Milinčić, D. D., Kostić, A. Ž., Jovanović, Z. B., Gašić, U. M., Tešić, Ž. L., Pešić, M. B. (2020). Polyphenolic profiles, antioxidant, and in vitro anticancer activities of the seeds of puno and titicaca quinoa cultivars. *Cereal Chemistry*, 97(3), 626-633. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cche.10278>
- Swaisgood, H. E., & Catignani, G. L. (1991). Protein digestibility: In vitro methods of Assessment. *National Library of Medicine*, 35, 185-136. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1930883/>
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa*

- Willd. genotype. *Food Chemistry*, 166. 380–388.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.018>
- Tang, Y., Zhang, B., Li, X., Chen, PX, Zhang, H., Liu, R. & Tsao, R. (2016). Bound Phenolics of Quinoa Seeds Released by Acid, Alkaline, and Enzymatic Treatments and Their Antioxidant and α -Glucosidase and Pancreatic Lipase Inhibitory Effects. *ACS Publications*, 64 (8). 1712-1719.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.5b05761>
- Tapia, M. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos* Bib. Orton IICA/CATIE (40), 1-226.
https://books.google.com.bo/books/about/La_quinua_y_la_ka%C3%B1iwa.html?id=FfemqEmGXysC
- Torralbo B., Diaz L., Morales, J., Seguel, A., Mera,I., Lopez, M., Galdames, R. & Campillo R., R. (2019). Antecedentes de mercado, costos y rentabilidad de producción de la quinua en la region de La Araucania. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias* Temuco: Colección Libros INIA. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/3620>
- Tufan, A. N., Çelik, S. E., Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2013). Direct measurement of total antioxidant capacity of cereals: QUENCHER-CUPRAC. *Method*, 108. 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.02.061>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, (2004). USDA database for the Proanthocyanidins (39). Content of Selected foods-2004 CITADO POR Vázquez-Flores 2012 referencia No. 39.
- USDA y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. (2015). Pautas alimentarias para estadounidenses. https://health.gov/sites/default/files/2019-10/DGA_Executive-Summary-SP.pdf

- U.S. Department of agriculture- UDA (2005). *Food and nutrition*. <https://www.usda.gov>
- Valencia, Estados Unidos, Sandberg, AS, Ruales, J. (1999). Procesamiento de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd): efectos sobre la disponibilidad de hierro *in vitro* y la hidrólisis del fitato. *En t. J. Food Sci. Nutr.* 50 (3), 203–211.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096374899101247>
- Valencia, Z., Cámara, F., Ccapa, K., Catacora, P., & Quispe, 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.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000100003
- Valenzuela B, Alfonso., Valenzuela, Rodrigo., Sanhueza, Julio., & Morales I, Gladys. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? *Revista chilena de nutrición*, 41 (2), 198-204.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-75182014000200011&script=sci_arttext
- Vázquez-Flores, A. A., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & Laura, A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(2), 84-93.
http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v6n2/data/Taninos_hidrolizables_y_condensados_naturaleza_quimicaventajas_y_desventajas_de_su_consumo.pdf
- Vásquez V, V., Rojas P, C., Luján V, M., Rodríguez, N., Milagros A, Chávez, M., Leylan A. & Vásquez A, J. (2019). Evaluación de digestibilidad proteica in vivo e in vitro utilizando *Saccharomyces cerevisiae* (Saccharomycetaceae) como organismo

modelo. *Arnaldoa*, 26(3), 1125-1142.

<https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26318>

Vázquez-Flores, A. A., Álvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & De la Rosa, L. A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(2), 84-93.

Vega-Gálvez, Antonio (2018). Assessment of dietary fiber, isoflavones and phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 34(1), 57-67.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902018005000101&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

[38902018005000101&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902018005000101&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

Vega - Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martínez, EA (2010),

Datos nutricionales y potencial funcional de la quinua (*Chenopodium*

quinoa willd.), Un antiguo Grano andino: una revisión. *J. Sci. Food Agric*, 90:

2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>

Vera, A., Valenzuela, M. A., Yazdani-Pedram, M., Tapia, C., & Abugoch, L. (2019).

Conformational and physicochemical properties of quinoa proteins affected by different conditions of high-intensity ultrasound treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 51, 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.026>

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.026>

Vicente-Vicente, L. y Prieto, M. & Morales, AI (2013). Eficacia y seguridad de la

quercetina como complemento alimenticio. *Revista de Toxicología*, 30 (2), 171-181.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91931189008>

Vidaurre-Ruiz, J., Días-Rojas, G., Mendoza-Llamo, E., & Solano-Cornejo, M. (2017).

Variación del contenido de Betalaínas, compuestos fenólicos y capacidad

antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.).

Revista de la Sociedad Química del Perú, 83 (3), 319-330.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300007&lng=es&tlng=es.

- Vidueiros, S.M.; Curti, R.N.; Dyner, L.M.; Binaghi, M.J.; Peterson, G.; Bertero, H.D. & Pallaro, A.N. 2015. Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. *Journal of Cereal Science*. 62, 87- 93. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.01.001>
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Vilcacundo, R., Miralles, B., Carrillo, W., & Hernández-Ledesma, B. (2018). In vitro chemo preventive properties of peptides released from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein under simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 105, 403-411. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996917308062>
- Villacrés, E. (2001). Obtención de un hidrolizado enzimático de alta funcionalidad a partir del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Escuela Politécnica Nacional, Quito. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/965>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C. & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, X., Zhao, R., & Yuan, W. (2020). Composition and secondary structure of proteins isolated from six different quinoa varieties from China. *Journal of Cereal Science*, 95, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103036>.

- Weiwei Wen., Saleh Alseekh., & Alisdair, Fernie (2020). Conservation and diversification of flavonoid metabolism in the plant kingdom, *Current Opinion in Plant Biology*. *Volume 55*. 100-108, ISSN 1369-5266, <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.04.00>
- Wright, KH, Pike, OA, Fairbanks, DJ & Huber, CS (2002), Composición de *Atriplex hortensis* , Semillas de *Chenopodium quinoa* dulce y amarga. *Journal of Food Science*, 67: 1383-1385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10294.x>
- Yameng, Han., Jianwei, Chi., Mingwei, Zhang., Ruifen, Zhang., Sanhong, Fan., Fei, Huang., Kaming, Xue., & Lei, Liu. (2019). Caracterización de saponinas y compuestos fenólicos: actividad antioxidante y efectos inhibidores de la α -glucosidasa en diferentes variedades de quinua coloreada (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biociencia, Biotecnología y Bioquímica*, 83, (11), 2128–2139. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1080/09168451.2019.1638756>
- Yao, Tang & Rong, Tsao. (2017) Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition Food Research*, (61), 67. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mnfr.201600767>
- Yu, S. H., Yu, J. M., Yoo, H. J., Lee, S. J., Kang, D. H., Cho, Y. J., & Kim, D. M. (2016). Anti-proliferative effects of rutin on OLETF rat vascular smooth muscle cells stimulated by glucose variability. *Yonsei medical journal*, 57(2), 373. <https://synapse.koreamed.org/upload/SynapseData/PDFData/0069YMJ/ymj-57-373.pdf>
- Zamora Vega, R., Reséndiz Vega, F., & Maya Cortés, D. (2020). Uso tecnológico de las proteínas en los alimentos. *Milenaria, Ciencia y Arte*, (16), 18-21. <http://www.milenaria.umich.mx/ojs/index.php/milenaria/article/view/96>

Zhang, B., Zhang, Y., Li, H., Deng, Z., & Tsao, R. (2020). A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives. *Trends in Food Science and Technology*, 105, 347-362. doi: [10.1016/j.tifs.2020.09.029](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.029)

Zhu, N., Sheng, S., Li, D., LAVOIE, E. J., KARWE, M. V., Rosen, R. T., & HO, C. T. (2001). Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Lipids*, 8(1), 37-44 <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2001.tb00182.x>

Anexos

Resumen analítico especializado RAE

Título del texto	La Quinoa, sus compuestos bioactivos, propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.
Nombres y Apellidos del Autor	Natalia Dayhana Quintero Velásquez y Luz Stella Guevara Peña
Año de la publicación	2021

Resumen del texto:

La quinua es un pseudocereal muy apetecido por sus compuestos bioactivos y propiedades funcionales, producido mayormente en Latinoamérica y Europa, conocido a nivel mundial como el “grano de oro”. Su consumo ha aumentado de forma importante, debido a su gran valor nutricional y beneficios innegables para la salud humana.

En el presente documento se ha trabajado información objetiva, precisa y detallada de los temas y sub temas relacionados con la quinua como lo es su producción, proceso, valores nutricionales, conceptos, consumo, beneficios, evolución y efectos, productos y sub productos elaborados a partir de este pseudocereal; se profundizó en los compuestos bioactivos y propiedades funcionales, donde se realizó un análisis crítico de estos temas; revisión de nuevas tendencias en innovaciones en la industria, mostrando nuevos diseños y desarrollo de productos, técnicas y procesos biotecnológicos.

Se logró como resultado, un documento con información veraz, el cual podrá proporcionar conocimientos actualizados sobre la quinua, que servirá como información de inicio para el desarrollo de nuevos productos, para futuras investigaciones y proyectos relacionadas con este pseudocereal.

Palabras Claves

Quinoa, compuestos bioactivos, propiedades funcionales.

Contenidos:

Generalidades de la quinua

1.1 Historia

1.2 Producción Actual

1.3 Composición física

1.4 Composición química y valor nutricional

1.5 Análisis del consumo de la quínoa como fuente de proteína en humanos y sus beneficios

1.6 Factores antinutricionales de la quinua

La quinua y sus compuestos bioactivos

- 2.1 Definición de compuestos bioactivos.
- 2.2 Los compuestos bioactivos en la quinua y sus implicaciones.
- 2.3 Los polifenoles y la quinua.
- 2.4 Capacidad antioxidante.
- 2.5 Actividad o función biológica de los compuestos bioactivos de la quinua.

La quinua, sus propiedades funcionales

- 3.1 Concepto y su evolución relacionados con propiedades funcionales.
- 3.2 Fundamentación científica sobre la caracterización de los efectos funcionales.
- 3.3 La quínoa y los efectos de su funcionalidad en el organismo humano.
- 3.4 Alimento sin gluten.
- 3.5 Propiedades funcionales y tecnológicas de la quinua.
- 3.6 Importancia de las propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.
- 3.7 Tendencias en los procesos de transformación de la quinua.

Descripción del problema de investigación:

Hay una deficiencia en la producción académica de materiales de revisión. La información científica en artículos de revisión relacionados con la temática propuesta es mínima. Las revisiones bibliográficas que hay hasta el momento, no reúnen en su contenido la información adecuada, necesaria, actualizada y suficiente sobre la quinua, sus compuestos bioactivos y sus propiedades funcionales.

Objetivo general:

Profundizar en la investigación sobre la quinua, sus compuestos bioactivos, las propiedades funcionales en el diseño y desarrollo de productos.

Objetivos Específicos:

Examinar las generalidades de la quinua, sus compuestos bioactivos y propiedades funcionales.

Analizar de forma crítica la relación entre componentes bioactivos y las propiedades funcionales de la quínoa.

Relacionar las tendencias e innovaciones en alimentos y en la industria, respecto a la quinua.

Metodología

Esta investigación se realizó a través de los canales de investigación de la plataforma de la UNAD, utilizando la biblioteca, por medios de varios buscadores entre ellos: scopus, science direct, scielo etc.

Se seleccionó y analizó la información considerada útil para el desarrollo del trabajo investigativo.

Principales referentes teóricos y conceptuales

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribasa, S., González, M. C., & 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 Science Direct*, (183), 83-90.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615003921?via%3Dihub>
- Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Honninger, M Piatti, & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “golden grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9 (2).
<http://doi:10.3390/foods9020216>
- Cesarettin, A., Bradley Bolling, S., Won Young Oh., & Fereidoon Shahidi. (2021). Specialty seeds: Nutrients, bioactives, bioavailability, and health benefits: A comprehensive review. *Wiley online library*, 20 (3). 2382-2427.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12730>
- 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. doi:10.1016/j.aos.2015.10.007
- Ghumman, A., Mudgal, S., Singh, N., Ranjan, B., Kaur, A., & Rana, J. C. (2021). Physicochemical, functional and structural characteristics of grains, flour and protein isolates of indian quinoa lines. *Food Research International*, 140.
<https://www.sciencedirect.com/bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0963996920310073?via%3Dihub>
- Han, Y., Chi, J., Zhang, M., Zhang, R., Fan, S., Dong, L., Huang, F. & Liu, L. (2019). Changes in saponins, phenolics and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) during milling process. *Science Direct*, 114.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108381>
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: a review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27-47.
<https://www.ffhdj.com/index.php/BioactiveCompounds/article/view/556/1191>
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137 (4), 40-57
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32035214/>

Vega-Gálvez, Antonio (2018). Assessment of dietary fiber, isoflavones and phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial properties of quinoa (chenopodium quinoa willd.). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 34(1), 57-67. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0719-38902018000100057&script=sci_abstract&tlng=n

Vilcacundo, R., Miralles, B., Carrillo, W., & Hernández-Ledesma, B. (2018). In vitro chemo preventive properties of peptides released from quinoa (chenopodium quinoa willd.) protein under simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 105, 403-411. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996917308062>

Conclusiones del texto

1. Luego de examinar la composición química y el valor nutricional de la quinua se concluye que este pseudocereal es un alimento excepcional, principalmente por su contenido y calidad de sus proteínas, además de su balance perfecto de aminoácidos, como también por sus carbohidratos, lípidos, minerales y vitaminas.

2. Los componentes bioactivos en la quinua le confieren propiedades que contribuyen a promover la salud y a prevenir enfermedades. Sus altos contenidos de compuestos fenólicos determinan su capacidad antioxidante.

3. La quinua y sus compuestos fenólicos han demostrado una actividad biológica importante por sus beneficios relacionados con la salud humana, actuando en la prevención de enfermedades como diabetes, enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, neurodegenerativas, artritis.

4. En el análisis de la quinua como alimento funcional es posible concluir que el consumo de la quinua en la dieta previene las enfermedades cardiovasculares, la hiperglucemia, la obesidad, actúa en la reducción del colesterol total y el colesterol LDL.

Se ha demostrado una contundente actividad anticancerígena relacionada con el cáncer colorrectal humano y cáncer de próstata.

5. Los estudios científicos han definido a la quinua como un alimento sin gluten, debido a su bajo contenido de prolaminas, apto para celíacos, sin ningún tipo de restricción, además, una opción como alimento funcional de gran valor nutritivo.

6. Las propiedades funcionales de las proteínas de la quinua pueden ser aprovechadas por la industria en la formulación y elaboración de nuevos productos alimenticios como parte de una nutrición y salud adecuadas. Las proteínas de la quinua se pueden utilizar en la elaboración de concentrados e hidrolizados, lo que posibilita una mayor asimilación de las proteínas ingeridas en el organismo, aumentando su digestibilidad, específicamente para personas con regímenes especiales.

7. La evaluación de los procesos de transformación de la quinua, permitió conocer los principales productos obtenidos de este grano, partiendo de procesos básicos que son modificados para la obtención de alimentos funcionales para humanos y animales.

Procesos como la extracción, hidrólisis, tratamientos térmicos, secados por aspersión, entre otros, demostraron la versatilidad de la quinua como ingrediente principal en producción de alimentos funcionales.

Fecha en que se elaboró este RAE

Octubre 5 del 2021
