

Obtención y caracterización de un hidrolizado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)

Obtaining and Characterization of a Quinoa Protein Hydrolyzate (Chenopodium quinoa Willd)

María Quelal¹, Karina Nazate², Elena Villacrés¹, Jimmy Cuarán²

Resumen

La presente investigación se enfocó en obtener un hidrolizado a partir de un concentrado proteico de quinua (método de precipitación isoeléctrica), se obtuvo un hidrolizado por aplicación enzimática de papaina en diferentes concentraciones y temperatura. Las propiedades nutricionales y funcionales fueron evaluadas en el hidrolizado, estableciéndose que la aplicación de enzima a una concentración de 0.159 UA/g enzima y pH 6.5 permitió alcanzar una tasa de hidrólisis de 13 %, contenido de proteína 73.41 g/100 g, tasa de digestibilidad 87.75 %, y un perfil de aminoácidos esenciales dentro de los requerimientos patrones establecidos para niños, según la FAO. Las propiedades funcionales del hidrolizado reflejaron un índice de dispersibilidad de 83.71 %, solubilidad de la proteína 85.35 %, capacidad espumante 125 % de volumen a pH 10, capacidad de retención de agua 0.33 g/g proteína y retención de aceite 0.56 g/g proteína. Estos valores muestran la potencialidad del hidrolizado proteico en la elaboración de fórmulas alimenticias para dietas con regímenes especiales o como ingrediente en la industria alimenticia.

Palabras clave

Concentrado proteico; digestibilidad de la proteína; hidrolizado proteico; propiedades funcionales; precipitación isoeléctrica; quinua.

Abstract

The present research focused on obtaining a hydrolyzate from a quinoa protein concentrate (isoelectric precipitation method), while the hydrolyzate was achieved with the application of papain enzyme in different concentrations and temperature. The nutritional and functional properties were evaluated in the hydrolyzate, establishing the fact that application of enzyme at a concentration of 0.159 AU/g and pH 6.5 allowed to reach a hydrolysis rate of 13 %, a protein content of 73.41 g/100 g, digestibility rate of 87.75 %, and an amino acid profile within the standard requirements established for children, according to FAO. The functional properties of the hydrolyzate reflected an index of dispersibility of 83.71 %, protein solubility of 85.35 %, foaming capacity of 125 % volume at pH 10, water retention capacity of 0.33 g/g protein and oil holding capacity of 0.56 g/g protein. These values show the potential of the protein hydrolyzate in the elaboration of food formulas for diets with special regimes or as an ingredient in the food industry.

Keywords

Protein concentrate, digestibility of protein; protein hydrolyzate; functional properties; isoelectric precipitation; quinoa

1. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) ha sido cultivada por más de 7000 años, domesticada, conservada y considerada como un alimento básico por las culturas indígenas de la región andina, quienes lograron aprovechar su valor nutricional para la alimentación humana y animal (Jacobsen, Mujica & Ortiz, 2003; Pando & Castellanos, 2016). Este pseudocereal es considerado un cultivo estratégico para la seguridad y soberanía alimentaria de los pueblos debido a su calidad nutricional, variabilidad genética, adaptabilidad y bajo costo de producción (FAO, 2011; Peralta et al., 2012).

1 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Mejía-Ecuador {maria.quelal, elena.villacres}@iniap.gob.ec
2 Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, mjcuaran@utn.edu.ec, kari_fer1804@hotmail.com

Según la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos es considerado uno de los mejores alimentos vegetales por su aporte nutritivo, principalmente, por su alto contenido de proteína (13.81-21.9 %, según la variedad), y es superior en relación con valores reportados en cereales como el trigo (8.6 %), arroz (9.9 %) y maíz (9.2 %) (Carrasco & Soto, 2010). En cuanto a sus aminoácidos, el grano se destaca por su contenido en lisina, superior al arroz y trigo (FAO, 2011; Villacrés et al., 2011). La FAO reporta que la quinua es uno de los alimentos de origen vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales y se aproxima a los requerimientos establecidos para la nutrición humana (Martínez, 2013).

Por otra parte, las albuminas y globulinas son los principales tipos de proteína presentes en la quinua, con porcentajes entre 35 y 37 %, respectivamente (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017). En el caso de las globulinas se caracterizan por ser del tipo 11S constituidas por una masa molecular de 300-350 KD conformadas por seis pares de polipéptidos ácidos y básicos estabilizados por una unión disulfuro, y las albuminas son del tipo 2S, soluble en medio acuoso y de bajo peso molecular (Añon, 2003; Janssen et al., 2017).

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 proporcionan aminoácidos esenciales que permiten mejorar la asimilación de las proteínas ingeridas en el organismo, específicamente para personas con regímenes especiales (Parra, 2009; Souza et al., 2008), y además de su valor biológico, las proteínas pueden ser aprovechadas por sus propiedades tecnológicas en la industria (Elsohaimy, Refaay & Zaytoun, 2015).

En los últimos años hay un interés por alimentos nutraceuticos, los cuales mantienen una expectativa para promover la salud más allá de la nutrición básica convencional, donde se logre alcanzar beneficios sobre las funciones fisiológicas del organismo (Ramírez & Pérez, 2010; Saavedra et al., 2013). Es por ello, que el objetivo de esta investigación fue obtener un hidrolizado a partir de un concentrado proteico de quinua para mejorar sus características químicas y funcionales; y ampliar las posibilidades de uso de la quinua como ingrediente, aditivo o suplemento alimentario.

2. Materiales y métodos

Las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) variedad Tunkahuan fueron proporcionadas por el Programa Nacional de Leguminosas de la Estación Experimental Santa Catalina-INIAP.

2.1. Preparación de la muestra

El grano fue sometido a operaciones de limpieza y clasificación, luego fue lavado con agua destilada y posteriormente secado en una estufa de aire caliente forzado (HS122A) a 75 °C por 8 h. Los granos libres de saponina se molieron en un molino para granos (Retsch KG-5657 Haan), provisto de un tamiz (U.S malla 60), el cual alcanza un tamaño de partícula 250 μm . Esta fracción fue desengrasada con hexano grado reactivo por 24 h, después de retirar el solvente, la harina fue secada por 2 h a 60 °C. Posteriormente, las muestras fueron empacadas en fundas de polietileno y almacenadas en un lugar seco.

2.2. Preparación del concentrado proteico

La extracción de la proteína de quinua se realizó basándose en la metodología descrita por Villacrés et al. (2001), con algunas modificaciones, que se detallan a continuación.

2.2.1. Solubilización alcalina

Se preparó una suspensión de harina: agua destilada en una relación 1:10 (p/v), el pH fue regulado con una solución 1 N de Na OH hasta llegar a pH 9. Esta suspensión se agitó por 1 hora en un agitador Coler-Parmer 4658, las muestras se centrifugaron en una centrifuga marca Tenko (TGL 20 M) a 10 000 rpm durante 15 min. Se rescató el sobrenadante (primera extracción); con el precipitado se repitió el proceso de solubilización (segunda extracción).

2.2.2. Precipitación isoeléctrica

Con los sobrenadantes obtenidos a partir de la primera y segunda extracción, el pH fue regulado con dos tipos de ácido (ácido cítrico y clorhídrico) hasta llegar a 4.5. Las muestras se centrifugaron a 10000 rpm durante 15 min; se descartó el sobrenadante. Con el precipitado se realizó lavados con agua destilada (dos lavados, un lavado, sin lavado). Los precipitados fueron liofilizados en un equipo LABCONCO LYPH LOCK 12 a -30 °C y presión de -0.9 bares. Las muestras secas fueron empacadas en fundas de polietileno. Se evaluó el contenido de proteína por el método Kjeldahl 2.062 de la AOAC, 1984 y se determinó el rendimiento del concentrado proteico por diferencia de pesos.

2.3. Preparación de la proteína hidrolizada

Con el concentrado que contenía mayor contenido de proteína, se realizó una suspensión con agua destilada en una relación 1:10 (p/v), para la hidrólisis enzimática se trabajó con dos temperaturas (50 °C, 65 °C), dos pH (5.5, 6.5) y dos concentraciones de enzima papaína (0.0795; 0.159 UA/g de enzima). La hidrólisis se realizó durante 3 h con agitación constante en un macerador (Micromat C.0). La inactivación de la enzima se efectuó a 92 °C por 10 min. Las muestras se centrifugaron a 10000 rpm por 15 min, se rescató el sobrenadante, el cual fue liofilizado. La proteína hidrolizada se almacenó en fundas de polietileno. En esta fase del proceso se evaluó el grado de hidrólisis acorde a la metodología descrita por Kim et al. (1990).

2.4. Propiedades nutricionales y funcionales del hidrolizado

Con el mejor tratamiento del proceso de hidrólisis se evaluó el contenido de proteína, método Kjeldahl.2.062 de la AOAC (1984), digestibilidad de la proteína (Hsu et al., 1977), perfil de aminoácidos se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (Umagat, Kucera & Wen, 1982) y las propiedades funcionales, como el índice de solubilidad (Bera & Mukherjee, 1989), índice de dispersibilidad por el método 46-24 de la A.A.C.C (1984), capacidad espumante y capacidad de retención de agua (Chau, Cheung & Wong, 1997).

2.5. Análisis estadístico

Se aplicó un diseño de varianza factorial (ANOVA) y la prueba de Tukey con un grado de significancia al 95 % ($P < 0.05$) para establecer diferencias significativas. Los análisis fueron realizados por triplicado y los datos presentados son expresados como la media \pm desviación estándar. El análisis estadístico se realizó en el programa INFOSTAT.

3. Resultados y discusión

3.1. Precipitación isoelectrica

El punto isoelectrico presenta una carga neta nula donde la proteína es capaz de precipitarse e incapaz de desplazarse hacia un campo eléctrico (Yúfera, 1995). El punto isoelectrico (PI) en leguminosas es de 4.5; en el caso del trigo 4.22 y en las proteínas de arroz alrededor de 4.26 (Elsouhaimy et al., 2015). Varias investigaciones muestran que la proteína de la quinua precipita en un rango de pH de 4.5-5.3; rango en el cual no se afecta la apariencia física (Callisaya et al., 2009; Lujan, 2014). Al respecto, Mufari (2015), estableció que el rango de mayor precipitación de las proteínas se logra a pHs comprendidos entre 4 y 4.25; con base a estas referencias se trabajó a un pH 4.5. Igualmente, la aplicación de ácidos orgánicos con distintos niveles de lavado, reflejó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Rendimiento y cuantificación en el concentrado de proteína

Ácido	# de Lavados	Rendimiento (%)	Proteína (%)
Cítrico	Sin lavado	10.27 ± 0.26 ^c	70.76 ± 0.65 ^{bc}
Cítrico	Un lavado	10.92 ± 0.38 ^{bc}	73.71 ± 0.90 ^a
Cítrico	Dos lavados	11.14 ± 0.42 ^{bc}	68.71 ± 0.84 ^c
Clorhídrico	Sin lavado	10.47 ± 0.46 ^c	65.60 ± 1.00 ^d
Clorhídrico	Un lavado	11.89 ± 0.64 ^{ab}	61.53 ± 0.85 ^e
Clorhídrico	Dos lavados	12.48 ± 0.49 ^a	72.81 ± 0.78 ^{ab}

Letras distintas indican diferencias significativas entre las muestras ($P < 0.05$); $n = 3$.

Con la aplicación de ácido cítrico se obtuvo un menor rendimiento en referencia al ácido clorhídrico, y el contenido de proteína presentó variación en relación con el número de lavados realizados. Estas diferencias se deben al tipo de ácido utilizado; la aplicación de ácido clorhídrico, el cual posee una importante fuerza iónica podría lograr una mejor estructuración de las moléculas (Badui, 2006; Belitz & Grosch, 1997) y generar un mayor rendimiento en la obtención de proteína.

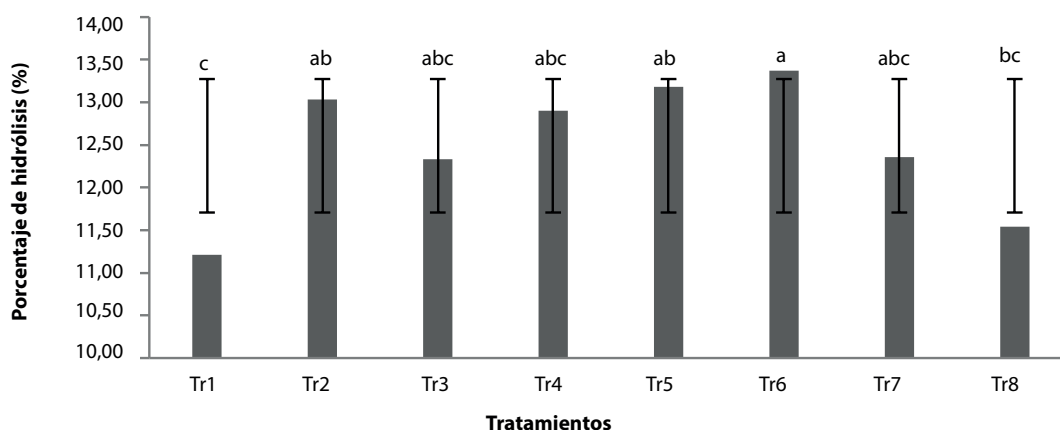
También en otros estudios similares, alcanzaron un contenido proteico de 70.10 % en un aislado proteico, a partir de quinua variedad INIAP-Tunkahuan (Tapia et al., 2016), 64.97 % con una harina comercial de quinua (Toapanta, 2016), 84.93 % en cultivos experimentales de quinua de La Paz-Bolivia (Callisaya et al., 2009), mientras que en quinuas de origen peruano (variedades blanca y rosada Junín) alcanzaron valores promedio de proteína de 73.53 % (Lujan, 2014). Otra investigación reportó valores superiores al 85 % de este analito a partir de diferentes variedades de quinua dulce boliviana (variedades Chucapaca, Jacha y Kurmi) y peruana (variedades Rosada y Pansakalla) (Steffolani et al., 2016). Factores como la variedad, parámetros de solubilización y precipitación pueden influir en la extracción y contenido de proteína. También, para la obtención del concentrado proteico, es necesario considerar un equilibrio entre su rendimiento y las pérdidas mínimas nutricionales, donde se pueda potenciar las propiedades funcionales del concentrado (Mufari, 2015).

3.2. Proteína hidrolizada de quinua

Las proteínas vegetales pueden modificarse de forma química o enzimática para alcanzar mayores beneficios funcionales, nutricionales y organolépticos (Robinson, 1991). El grado de hidrólisis permite estimar el porcentaje de enlaces peptídicos rotos en relación a la proteína de quinua en su estado original (Vioque et al., 2001). El porcentaje hidrolizado respecto a diferentes concentraciones enzimáticas, temperatura y pH, se presenta en la *Figura 1*.

La aplicación enzimática a 0.159 UA/g de enzima a 65 °C y pH 6.5 registró un grado de hidrólisis de 13.37 %, porcentaje mayor con relación a los otros tratamientos; sin embargo, el promedio alcanzado es menor en relación con leguminosas como el chocho (26.27 %) y soya (22.07 %) (Ávila, 2011; Villacrés, 2001). El bajo grado de hidrólisis de la proteína de quinua podría deberse a que la enzima alcanza a romper pocos enlaces internos de la proteína, lo que se traduce en que permanezcan intactos varios grupos carboxilos y aminos de los aminoácidos.

Figura 1. Porcentaje de hidrólisis de la proteína de quinua



Tr1: 0.0795 UA-50 °C - pH 5.5; Tr2: 0.0795 UA-50 °C - pH 6.5; Tr3: 0.0795 UA-65 °C - pH 5.5; Tr4: 0.0795 UA-65 °C - pH 6.5; Tr5: 0.1590 UA-50 °C - pH 5.5; Tr6: 0.1590 UA-50 °C - pH 6.5; Tr7: 0.1590 UA-65 °C - pH 5.5; Tr8: 0.1590 UA-65 °C - pH 6.5
 Letras distintas indican diferencias significativas entre las muestras ($P < 0,05$); $n = 3$

3.3. Caracterización nutricional y funcional del hidrolizado proteico de quinua

El contenido de proteína del hidrolizado alcanzó valores de 73.41 g/100g; sin embargo, en otras investigaciones, el contenido de proteína presente en hidrolizados de quinua amarga y negra a un pH de 3.2 alcanzaron valores de 77.81 y 50.75 %, respectivamente, en dicho estudio se usó pepsina como enzima para dicho proceso (Díaz, 2016); mientras que con la aplicación de alcalasa y la técnica de filtración por membranas, Aluko & Monu (2003) obtuvieron un valor de 65.52 % en la proteína hidrolizada de quinua. En el caso de hidrolizados de chocho y soya se registraron valores de proteína de 99.3 y 85.53 %, respectivamente (Ávila, 2011; Villacrés, 2001).

La digestibilidad de la proteína a un pH de 6.78 alcanzó un valor de 87.75 %, este contenido es mayor en relación con el concentrado proteico de quinua que alcanzó una tasa de digestión de 78.37 % realizado por Elsohaimy et al. (2015). En el caso de leguminosas como el chocho, se reportó valores 85.9 % de digestibilidad en la proteína hidrolizada (Villacrés, 2001). La aplicación de procesos térmicos, eliminación de saponinas en quinua, modificaciones enzimáticas, entre

otros, factores influyen en la tasa de digestión del hidrolizado (Belitz & Grosch, 1997; Valencia-Chamorro, 2016). También, se reportaron trazas de grasa, fibra y cenizas, las cuales no fueron eliminadas completamente durante los procesos de obtención del concentrado e hidrolizado, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización química del hidrolizado proteico de quinua

Componente	g/100 g
Proteína	73.41 ± 0.71
Grasa	0.02 ± 0.01
Fibra	0.01 ± 0.01
Cenizas	0.40 ± 0.07
Humedad	2.00 ± 0.18
Digestibilidad de la proteína (%)	87.75 ± 0.86

Desviación estándar, n=3

La composición de aminoácidos del hidrolizado proteico se presenta en la Tabla 3. La proteína de quinua mantiene un adecuado balance de aminoácidos esenciales a excepción del triptófano. El hidrolizado registró un contenido importante de leucina, histidina y lisina (6.25, 4.28 y 4.25 g/100 g); en la investigación realizada por Elsohaimy et al. (2015) en el concentrado proteico reportó un valor superior de lisina (17.13 g/100 g) e inferior en cuanto a la histidina y leucina. En el caso de la semilla de quinua existió una cantidad significativa de leucina y lisina (5.95 y 5.42 g/100g) (US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2005). Además, en el hidrolizado de quinua se registraron cantidades menores de isoleucina, fenilalanina, treonina, valina y metionina, al igual que en investigaciones realizadas en el concentrado proteico y el grano. En comparación con el requerimiento para niños de la FAO (1985), el equilibrio de aminoácidos es adecuado debido a que presentan un rango más amplio con relación a los cereales y a otras leguminosas (James, 2009). La calidad proteica (PDCAAS), estimada a base del aminoácido limitante y la digestibilidad de la proteína en el hidrolizado fue de 63.88 %. En el concentrado proteico y la semilla, el porcentaje fue menor; el proceso enzimático favoreció al incremento del PDCAAS (Benítez et al., 2008; Cervilla et al., 2012)

También, existió un importante contenido de ácido glutámico (12.75 g/100 g), en cantidad moderada arginina, ácido aspártico y la serina, no se detectó presencia de cisteína en el concentrado e hidrolizado proteico, pero en la semilla hubo una pequeña cantidad de este aminoácido. La quinua se caracteriza por tener en menor proporción aminoácidos de tipo azufrados. No se registró la presencia de triptófano en el hidrolizado, lo cual concuerda con la investigación realizada por Elsohaimy et al. (2015). En otros estudios realizados en harina de quinua, la cantidad de este aminoácido no es representativa o no se detecta (Cervilla et al., 2012); el tipo de procesamiento, las condiciones agrícolas y climáticas pueden afectar al contenido de aminoácidos y su variación.

Tabla 3. Comparación del contenido de aminoácidos del hidrolizado proteico de quinua en relación con un concentrado proteico y la semilla de quinua

Aminoácidos esenciales	Hidrolizado proteico de quinua (g/100 g)	Concentrado proteico de quinua (g/100 g)*	Semilla de quinua (g/100 g)**	Patrón FAO ⁺
Histidina	4.28 ± 0.01	2.76	2.88	1.9
Isoleucina	3.45 ± 0.02	1.30	3.57	2.8
Leucina	6.25 ± 0.12	4.6	5.95	6.6
Lisina	4.25 ± 0.09	17.13	5.42	5.8
Metionina	1.82 ± 0.06	1.70 ⁺⁺	2.18	2.5
Fenilalanina	3.85 ± 0.10	9.34 ⁺⁺	4.20	6.3
Treonina	3.86 ± 0.07	1.47	2.98	3.4
Triptófano	N/D	N/D	1.18	1.1
Valina	3.93 ± 0.05	2.03	4.21	3.5
Digestibilidad de la proteína (%)	87.75	78.37	78.00 ^{***}	
PDCAAS (%)	63.88	36.39	8.37	
Aminoácidos no esenciales	Hidrolizado proteico de quinua (g/100 g)	Concentrado proteico de quinua (g/100 g)*	Semilla de quinua ^{**}	
Ácido aspártico	6.27 ± 0.13	8.54	8.30	
Ácido glutámico	12.75 ± 0.01	12.8	13.1	
Serina	5.45 ± 0.06	2.57	4.20	
Tirosina	2.85 ± 0.11	2.88	1.89	
Arginina	7.25 ± 0.15	0.03	7.73	
Alanina	4.23 ± 0.03	5.34	4.16	
Glicina	4.69 ± 0.09	9.6	4.92	
Prolina	0.25 ± 0.02	0.1	---	
Cistina	N/D	---	1.44	

(Elsahaimy et al., 2015)*; (US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2005)**; (Ruales & Nair, 1994)^{***}.

+ Patrón de requerimiento de aminoácidos para preescolares extrapolables a adultos (FAO, 1985)

++ Metionina + Cisteína; Fenilalanina + Tirosina; ND No detectable

En la Tabla 4 se indican las propiedades funcionales del hidrolizado de quinua. El índice de dispersibilidad fue de 83.71 %; sin embargo es menor a la reportada para chocho, donde se logra un 100 % de dispersibilidad (Villacrés, 2001). El uso de enzimas, el sustrato y otros factores utilizados pudieron influir en el grado de rotura de los enlaces peptídicos y en el contenido del índice de dispersibilidad.

Por otro lado, el comportamiento en cuanto a la solubilidad de las proteínas es diverso, y depende del número de grupos polares, apolares y su ordenación en la molécula (Belitz & Grosch, 1997). El índice de solubilidad a un pH 10 alcanzó el 85.35 %, mientras que en el estudio de Elshahaimy y colaboradores obtuvieron 75.21 % a pH 10, estableciendo que la solubilidad se incrementa con el aumento de pH. En leguminosas como el chocho alcanzó un valor máximo del 93 % a pH 4.5 (Villacrés, 2001 y 86.25 % a un pH 10 en el caso del hidrolizado de soya (Ávila, 2011). La formación de unidades peptídicas más pequeñas, más hidrofílicas y solvatadas permitieron la afinidad de la proteína por las moléculas de agua (Aluko & Monu, 2003; L. S. Bernardi et al., 1991).

La capacidad de retención de agua es otra propiedad funcional de los alimentos, en el caso del hidrolizado de quinua se obtuvo un valor de 0.33 g agua/ g proteína; mientras que en leguminosas como la proteína de chocho se registra valores de 0.54 g agua/ g proteína (Villacrés, 2001). La capacidad de retención de aceite fue 0.56 g aceite/ g proteína; fue menor en relación al hidrolizado de soya 1.60 g aceite/g proteína (Ávila, 2011), hidrolizado de chocho 2.00 g aceite/g proteína (Villacrés, 2001). Esto indica que la interacción proteína-lípido está directamente relacionada con la solubilidad; las proteínas insolubles fijan mayor cantidad de aceite, en el caso de la quinua puede existir presencia de cadenas polares que limitan esta propiedad. Además de factores como, la microestructura o el tamaño de la partícula, que limitan la retención de agua y aceite (Qi, Hettiarachchy, & Kalapathy, 1997; Villacrés et al., 2006).

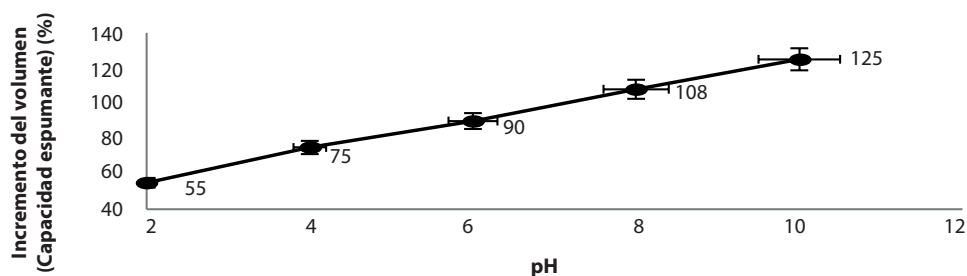
Tabla 4. Propiedades funcionales del hidrolizado de quinua

Propiedad	%
Índice de dispersibilidad	83.71 ± 0.64
Índice de solubilidad	85.35 ± 0.83
Propiedad	Índice
Capacidad de retención de agua	0.33 ± 0.22
Capacidad de retención de aceite	0.56 ± 0.13

Desviación estándar, n=3

La capacidad de formación de espuma en la quinua a una concentración (2 %), se incrementó a medida que aumentó el pH, alcanzando a un pH 10 un valor de 125 %, como se indica en la Figura 2. Aluku & Monu (2003), establecieron que los hidrolizados proteicos en quinua alcanzan mayor capacidad espumante (aproximadamente 160 %) con relación a los permeados obtenidos por ultrafiltración (80 %), que presentan menor espumabilidad; la hidrólisis enzimática, al reducir el peso molecular aumenta la flexibilidad de las proteínas, lo que permite la formación de una membrana interfacial y, por lo tanto, la formación de espuma (Aluku & Monu, 2003). Un concentrado proteico de quinua alcanzó 75.41 % de capacidad espumante al 1 % de concentración (Elsouhaimy et al., 2015), hidrolizados de proteína de amaranto alcanzaron valores de 15.9 % con una concentración de 1 % (p/v) de proteína (Castel, 2010), para hidrolizados de soya con 2 % de concentración y pH 10 se reportó 357.33 % de capacidad espumante (Ávila, 2011). La aplicación de la hidrólisis enzimática puede mejorar esta propiedad, debido a que la exposición de áreas hidrófobas y flexibilidad molecular de los polipéptidos permite mejorar la afinidad por su interfase (aire/agua) y aumentar la velocidad de adsorción (Martínez et al., 2007).

Figura 2. Efecto del pH sobre la capacidad espumante del hidrolizado de quinua n=3.



4. Conclusiones

A partir de la harina desengrasada de quinua de la variedad Tunkahuan se obtuvo un concentrado proteico con un contenido de proteína de 72.81 %. La hidrólisis enzimática con papaína (0.159 UA/g de enzima) a 65 °C y pH de 6.5 permitió obtener un producto con un grado de hidrólisis de 13.37 %, con un porcentaje de proteína de 73.41 % y una tasa de digestibilidad de 87.75 %. El hidrolizado proteico presenta un perfil de aminoácidos esenciales adecuado acorde a las estimaciones de la FAO para niños en edad escolar; además presenta ciertas propiedades funcionales (solubilidad, dispersibilidad y capacidad de formación de espuma) podría ser utilizado como suplemento proteico en la industria alimentaria y puede tener importante actividad biológica y actuar como agentes antihipertensivos o antioxidantes.

Bibliografía

- A.A.C.C. (1984). American Association of Cereal Chemist. Método 46-24.
- Aluko, R. E., & Monu, E. (2003). Functional and bioactive properties of quinoa seed protein hydrolysates. *Journal of Food Science*, 68(4), 1254-1258.
- Añon, C. (2003). Los nuevos viejos cultivos: Amaranto, quinua y Chía. Seminario Buenos Aires.
- AOAC. (1984). The Official Methods of Analysis of AOAC. Washigton.
- Ávila Zapata, C. A. (2011). Determinación de las propiedades físico-químicas y funcionales del aislado e hidrolizado enzimático de la proteína de soya a escala piloto, para aplicación en alimentos. Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos (cuarta). México: Alambra.
- Belitz, H.-D., y Grosch, W. (1997). Química de los alimentos, 2.ª ed). Zaragoza España: Acubia.
- Benitez, R., Ibarz Ribas, A., y Pagan, J. (2008). Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 42(2), 227-236.
- Bera, M. B., y Mukherjee, R. K. (1989). Solubility, emulsifying, and foaming properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Science*, 54(1), 142-145.
- Callisaya, A., Carlos, J., Alvarado, K., y Antonio, J. (2009). Aislados Proteínicos de granos altoandinos Chenopodiaceas; quinua "Chenopodium Quinoa"-Cañahua "*Chenopodium Pallidicaule*" por Precipitación Isoeléctrica. *Revista Boliviana de Química*, 26(1), 12-20.
- Carrasco, E., y Soto, L. (2010). Importancia de los granos andinos. En W. Rojas, José Luis Soto, M. Pinto, M. Jäger, y S. Padulosi (eds.), *Granos Andinos. Avances. logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Roma: Bioersity International.
- Castel, M. V. (2010). *Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Cervilla, N., Mufari, J., Calandri, E., y Guzmán, C. (2012). Determinación del contenido de aminoácidos en harinas de quinua de origen argentino. Evaluación de su calidad proteica. *Actualización en Nutrición*, 13(2), 107-113.
- Chau, C.-F., Cheung, P. C. K., y Wong, Y-S. (1997). Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2500-2503.
- Díaz, P. (2016). Desarrollo de un proceso para la obtención de un aislado proteico a partir de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) para su evaluación potencial en la industria. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Elsohaimy, S. A., Refaay, T. M., y Zaytoun, M. A. M. (2015). Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305.
- FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria. Roma.

- FAO. (1985). Necesidades de energía y de proteínas. Informe de la reunión consultiva conjunta FAO/OMS/ONU de expertos. Ginebra.
- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., y Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42(5), 1269-1273.
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., y Ortiz, R. (2003). La Importancia de los Cultivos Andinos. *Fermentum*, 36, 14-24.
- James, L. E. A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1-31.
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J. A., Deleu, L. J., y Delcour, J. A. (2017). Proteins of Amaranth (*Amaranthus spp.*), Buckwheat (*Fagopyrum spp.*), and Quinoa (*Chenopodium spp.*): A Food Science and Technology Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39-58. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12240>
- Kim, S., Park, P., y Rhee, K. C. (1990). Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(3), 651-656.
- L.S. Bernardi, A. M. R. Pilosof, y Bartholomai, G. (1991). Enzymatic modification of soy protein concentrates by fungal and bacterial proteases. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68(2), 102-105.
- Lujan, A. I. B. (2014). Influencia del pH en la extracción de aislado proteico de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) de las variedades Blanca Junín y Rosada Junín.
- Martínez, A. (2013). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (eds.), *Quinua: Aspectos Nutricionales del Arroz de los Incas* (FAO y CIRA, p. 331-340). Santiago de Chile y Montpellier.
- Martínez, K. D., Sánchez, C. C., Ruíz-Henestrosa, V. P., Patino, J. M. R., & Pilosof, A. M. R. (2007). Effect of limited hydrolysis of soy protein on the interactions with polysaccharides at the air-water interface. *Food Hydrocolloids*, 21(5), 813-822. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.008>
- Mufari, J. R. (2015). Aislado Proteico. In F. Grasso (Ed.), *Aprovechamiento integral del grano de Quinoa. Aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales*. (primera). Argentina.
- Pando, L. G., & Castellanos, E. A. (2016). *Guía de cultivo de la quinua* (FAO y Univ). Lima.
- Parra, R. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 62, 4967-4982.
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, Á., Rivera, M., Diego Rodriguez, Lomas, L., & Monar, C. (2012). *Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, Quinua, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción* (Tercera). Quito.
- Qi, M., Hettiarachchy, N. S., & Kalapathy, U. (1997). Solubility and emulsifying properties of soy protein isolates modified by pancreatin. *Journal of Food Science*, 62(6), 1110-1115.
- Robinson, D. (1991). Valor nutricional de las proteínas, hidrólisis enzimática de proteínas. En Calvo, M & Sevillano, E (eds.), *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Rosa Ramírez, y Pérez José. (2010). *Alimentos funcionales: principios y nuevos productos*. CDMX, México: Trillas.
- Ruales, J., & Nair, B. (1994). Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 29(4), 449-456. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02086.x>
- Saavedra, L., Hebert, E. M., Minahk, C., y Ferranti, P. (2013). An overview of "omic" analytical methods applied in bioactive peptide studies. *Food Research International*, 54(1), 925-934. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.034>
- Souza, M. W. S. de, Rolim, E., Carreira, R., Alfonso, W. de O., Silva, V. D. M., y Silvestre, M. P. C. (2008). Obtaining oligopeptides from whey: use of subtilisin and pancreatin. *American Journal of Food Technology*, 3 (5), 315-324.

- Steffolani, M. E., Villacorta, P., Morales-Soriano, E. R., Repo-Carrasco, R., León, A. E., y Pérez, G. T. (2016). Physicochemical and functional characterization of protein isolated from different quinoa varieties (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Cereal Chemistry*, 93(3), 275-281.
- Tapia, I., Taco, D., y Taco, V. (2016). Aislamiento de proteínas de quinua ecuatoriana (*Chenopodium quinoa Willd*) variedad INIAP Tunkahuan con remoción de compuestos fenólicos, para uso potencial en la nutrición y salud humanas. *Rev Fac Cien Med*, 41(1), 71-80.
- Toapanta Mayra. (2016). Caracterización de Aislados proteicos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y su Digestibilidad gástrica y duodenal (*in vitro*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Umagat, H., Kucera, P., y Wen, L. (1982). Total amino acid analysis using pre-column fluorescence derivatization. *Journal of Chromatography A*, 239, 463-474. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)82003-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)82003-8)
- US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, N. D. L. (2005). USDA National Nutrient Database for Standard Reference Dataset for What We Eat In America.
- Valencia-Chamorro, S. A. (2016). Quinoa: Overview. (C. Wrigley, H. Corke, y J. Seetharaman, K., Faubion, eds.), *Encyclopedia of Food Grains*. Oxford: Academic Press.
- Vilcacundo, R., y Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Food Microbiology-Funct. Foods and Nutrition*, 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Villacrés, E. (2001). Obtención de un hidrolizado enzimático de alta funcionalidad a partir del chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Villacrés, E., Peralta, E., Egas, L., y Mazón, N. (2011). Potencial agroindustrial de la quinua. Quito: Departamento de Nutrición y Calidad de los Alimentos. EESC.INIAP.
- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, L., y Segovia, G. (2006). Usos Alternativos del Chocho. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad.
- Vioque, J., Clemente, A., Pedroche, J., Yust, M. del M., y Millán, F. (2001). Obtención y aplicaciones de hidrolizados proteicos. *Grasas y Aceites*, 52(2), 132-136.
- Yúfera, E. P. (1995). Química orgánica básica y aplicada. De la molécula a la industria. España: Reverté.