

## EXTRACCION Y PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE PROTEINA DE QUINUA (*Chenopodium quínoa willd*) DE LAS VARIEDADES BLANCA JUNIN Y ROSADA JUNIN

*Data de aceite: 01/12/2022*

### **Abel Isaías Barrial Lujan**

Universidad Politécnica de Valencia  
Valencia-España  
<https://orcid.org/0000-0002-2982-6354>

### **David Barrial Acosta**

Universidad Nacional Micaela Bastidas  
Abancay-Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-9888-8850>

### **Mary Luz Huamán Carrión**

Universidad Nacional José María  
Arguedas.  
Andahuaylas-Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-5139-9064>

### **Percy Leónidas Cortez Miranda**

Universidad Nacional Micaela Bastidas  
Abancay-Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-3814-5251>

### **José Carlos Arévalo Quijano**

Universidad Nacional José María  
Arguedas  
Andahuaylas-Peru  
<https://orcid.org/0000-0002-0422-1965>

### **William Gil Castro Paniagua**

Universidad Nacional José María  
Arguedas.  
Andahuaylas-Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-5817-8053>

### **Mauricio Muñoz Melgarejo**

Universidad Peruana los Andes.  
Huancayo- Perú.  
<https://orcid.org/0000-0002-6115-3057>

### **Jenny Caroline Muñoz saenz**

Universidad Peruana los Andes.  
Huancayo-Perú.  
<https://orcid.org/0000-0003-1855-0556>

### **Doris Marlene Muñoz Sáenz**

Universidad Enrique Guzmán y Valle. Lima  
- Perú.  
<https://orcid.org/0000-0002-2721-9331>

### **Yobana Rodrigo Cabezas**

Universidad de Buenos Aires  
Buenos Aires-Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-3371-5470>

### **Nidia Garcia Nauto**

Universidad Nacional de Moquegua  
Moquegua-Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-6116-3503>

### **Jaime David Laqui Estaña**

Universidad Nacional de Moquegua  
Moquegua-Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-3036-7175>

**RESUMEN:** Se extrajeron proteína de quinua de las variedades blanca Junín y rosada Junín y se analizaron sus propiedades tecnofuncionales respectivas. Para la extracción del aislado proteico de quinua (APQ) de ambas variedades se ha utilizado una solución de pH alcalina (8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0 y 10,5) a efectos de solubilización y posteriormente para la precipitación o recuperación de la proteína se utilizó una solución de pH acida (3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 y 5,5). luego, para conocer las propiedades tecnofuncionales del APQ obtenido previamente, se analizaron la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de emulsión (CE) y la capacidad de formación de espuma (CFE). Los datos se analizaron a través de un ANOVA, seguido de una comparación de medias de Fisher – LSD con nivel de significancia del 5 %. Los valores encontrados de APQ para variedad blanca Junín oscila entre 32,10% a 74,20% y el APQ variedad rosada Junín varia de 47,58 % a 72,86 % respectivamente. De manera que, las diferentes condiciones de pH afectan significativamente la extracción de proteína ( $P<0,05$ ). Los valores de CRA fue de  $3,9 \pm 0,19$  ml/g y no muestran diferencias significativas entre los tratamientos para ambas muestras ( $P>0,05$ ). La CE fue  $91,45 \pm 0,10$  a  $336,5 \pm 0,12$  ml aceite/100 ml de solución; por tanto, los tratamientos establecidos para ambas muestras se difieren ( $P<0,05$ ). La CFE aumentó significativamente con el aumento de la concentración de proteína a escala de pH alcalino ( $P<0,05$ ). Estas características le atribuyen que el aislado proteico de quinua de ambas variedades estudiadas es un insumo de interés industrial para el sistema alimentario.

**PALABRAS CLAVE:** Proteína vegetal, quinua, aislado proteico y propiedades tecnofuncionales.

## EXTRACTION AND TECHNOFUNCTIONAL PROPERTIES OF QUINOA PROTEIN (*Chenopodium quinoa willd*) FROM THE WHITE JUNIN AND PINK JUNIN VARIETIES

**ABSTRACT:** Quinoa protein was extracted from the Junín Blanca and Junín Rosa varieties and their respective technofunctional properties were analyzed. For the extraction of the quinoa protein isolate (QPI) of both varieties, an alkaline pH solution (8.0; 8.5; 9.0; 9.5; 10.0 and 10.5) has been used to solubilize and an acid pH solution (3.0; 3.5; 4.0, 4.5, 5.0 and 5.5) to precipitate or recover the protein. then, to know the technofunctional properties of the previously obtained QPI, the water holding capacity (WHC), the emulsion activity (EA) and the foaming capacity (FC) were analyzed. Data were analyzed through ANOVA, followed by a Fisher-LSD comparison of means at the 5% level of significance. The QPI values found for the white Junín variety range from 32.10% to 74.20% and the QPI for the pink Junín variety ranges from 47.58% to 72.86%, respectively. Therefore, different pH conditions significantly affect protein extraction ( $P<0.05$ ). The WHC values were  $3.9 \pm 0.19$  ml/g and did not show significant differences between the treatments for both samples ( $P>0.05$ ). The EA was  $91.45 \pm 0.10$  at  $336.5 \pm 0.12$  mL oil/100 mL solution; therefore, the treatments established for both samples differ ( $P<0.05$ ). The FC increased significantly with increasing protein concentration on the alkaline pH scale ( $P < 0.05$ ). These characteristics attribute to the fact that the quinoa protein isolate of both varieties studied is an input of industrial interest for the food system.

**KEYWORDS:** Vegetable protein, quinoa, protein isolate and technofunctional properties.

## 1 | INTRODUCCIÓN

La demanda de proteínas en la dieta humana ha ido en constante aumento en los últimos años debido a la mayor conciencia de su valor nutricional y propiedades funcionales. Asimismo, el alto costo de producción de proteína animal y la presencia de una cantidad abundante de proteína de origen vegetal ha desviado el interés de los investigadores y los industriales de alimentos hacia las fuentes de proteína relativamente más baratas y adecuadas. Se espera que los aislados de proteínas derivados de fuentes vegetales sustitutas ocupen el mercado masivo en el futuro (Sara et al., 2020). Por lo tanto, las proteínas de origen vegetal (p. ej., proteínas de quinua, soja y lentejas) como alternativas a las proteínas de origen animal (p. ej., proteína aislada de suero, caseínas y gelatinas) han ganado un amplio interés, debido a las tendencias de los consumidores que se desplazan hacia un estilo de vida más saludable y a la huellas ambientales más bajas posibles en comparación con las relacionadas con las proteínas de origen animal (Alrosan et al., 2022). Se precisa, que *Chenopodium quinoa Wild* de la familia Chenopodiaceae es un pseudocereal cultivado desde la antigüedad por los incas, y La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha considerado como uno de los alimentos del futuro a nivel mundial por su gran capacidad de adaptación agronómica, alto contenido de aminoácidos esenciales, su contribución a la seguridad alimentaria y economía de la población andina (FAO, 2011; Barrial-Lujan, 2014). Además, la quinua está recibiendo una creciente popularidad como una nueva fuente de alimentos y proteínas; y puede ser un ingrediente alimentario potencial con amplias aplicaciones, debido a su mayor contenido de lisina (5,1 – 6,4 %), metionina (0,4–1,0 %) y cisteína que los cereales comunes (Shen et al., 2021; Elsohaimy et al., 2015). También es una buena fuente de fibra, grasas poliinsaturadas, minerales, vitaminas y fitoquímicos como polifenoles y flavonoides (Sara et al., 2020). Además del valor nutricional, las proteínas alimentarias proporcionarían propiedades funcionales únicas que afectan su comportamiento en los sistemas alimentarios durante la preparación, el procesamiento, el almacenamiento y el consumo, y contribuyen a la calidad y los atributos sensoriales del sistema alimentario (Dakhili et al., 2019). Estas diversas propiedades se atribuyen a factores tanto intrínsecos (estructura molecular, composición) como extrínsecos (temperatura, pH, productos químicos y ambientales) (Ran et al., 2022; Ashraf et al., 2012). Cuando se modifican estos factores, las propiedades funcionales de las proteínas alimentarias varían fácilmente. Especialmente durante el procesamiento de alimentos, las propiedades funcionales de las proteínas se destruyen al exponerlas a factores extrínsecos (Liu, Ru, & Ding, 2012). El valor de pH del sistema alimentario tiene un impacto sustancial en la funcionalidad de las proteínas en diversas condiciones ambientales. Se cree que el funcionamiento de las proteínas es particularmente bajo cerca de su pH isoeléctrico (Singh, Kaur, & Sandhu, 2005). A continuación, se analizan los factores influyentes para la extracción de la proteína de quinua de las variedades blanca

Junín y rosada Junín y algunas de sus propiedades tecnofuncionales respectivas.

## 2 | MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Método para la extracción de proteína de quinua

Las semillas de *Chenopodium quinoa Willd* fueron molidas en un molino de martillo luego se separó las fracciones no proteicas por tamiz con malla de acero inoxidable N° 35 A.S.T.M de 500 Micrones. La fracción lipídica fue extraída en cuatro etapas sucesivas con solvente tipo éter de petróleo (P. Eb. 60-90 °C) en una relación de 3:1 (solvente/sólido). Luego se desolventizó a temperatura ambiente siguiendo el procedimiento del método estandarizado 920.39C descrito por la AOAC (1990). Una vez desgrasada la muestra, se procedió a extraer proteína de quinua empleando el método propuesto por Ventura (2003) y algunas consideraciones elementales de Cheftel et al., (1989), que consistió en dos etapas: En la primera etapa, se suspendió los 5 gramos de harina de quinua desgrasada en agua destilada (10 % p/v); luego para solubilizar las proteínas se ajustó a pH alcalino de 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0 y 10,5 con NaOH a 1 N, respectivamente; se mantuvieron constantes la relación materia prima/solvente (1:10) a temperatura 50 °C; se agitó continuamente la solución durante 30 minutos; y finalmente, se procedió a centrifugar a 4000 rpm durante 30 min. En la segunda etapa, se tomaron alícuotas de 25 ml del sobrenadante obtenido previamente (nitrógeno solubilizado) y se adicionó HCl 1N a diferentes valores de pH a 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 y 5,5 para precipitar y recuperar las proteínas, la centrifugación fue de 4000 rpm x 30 min. Por último, se lavaron las proteínas aisladas con agua destilada luego se sometió en estufa a una temperatura de 50 °C. El porcentaje de proteínas o rendimiento de la fracción (PPI), se determinó por el siguiente cálculo.

$$PPI = \frac{\text{g de extracto proteico}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

Dónde: PPI, es el rendimiento de la proteína extraída

### 2.2 Determinación de proteínas totales

La cuantificación de las proteínas fueron determinadas empleando el método Kjeldahl descritos en el método AOAC 991.20 (AOAC, 1995). Se mineralizaron 0,5–2 ml de muestra en un matraz de digestión con 4 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96 % (v/v) y aproximadamente 10 mg de catalizador. El paso de mineralización se logró a 450 °C durante 150 min. Pasado este tiempo, la solución se destiló con NaOH al 32% (p/v) y la mezcla se tituló frente a 0,01 mol/L de HCl. El blanco contenía todos los reactivos sin la muestra. El nitrógeno no proteico en la muestra se determinó en el sobrenadante después de la precipitación de proteínas usando ácido tricloroacético al 50 % (p/v). Se utilizó un factor de conversión de N × 5,6 según (Pickardt et al., 2011)

$$\text{Proteína} = \frac{N \times V \times 14 \times 100 \times \text{Factor de conversión}}{m \times 100}$$

Dónde: V, es el volumen gastado del ácido sulfúrico; N, es la normalidad del ácido sulfúrico y m, es el peso de muestra en gramos.

## 2.3 Determinación de las propiedades tecnofuncionales de proteína de la quinua

### 2.3.1 Capacidad de retención de agua (CRA)

Se prepararon dispersiones proteicas al 1% p/v en buffer de pH 3, 4, 5, 7 y 9. Las muestras se sometieron cada 15 minutos a agitación intensa y breve en vortex durante 1 hora a temperatura ambiente. Seguidamente los tubos se centrifugaron a 4000 rpm durante 30 minutos a 15 °C, que luego se obtuvo la masa del precipitado. A continuación, Se midió el volumen del sobrenadante de la muestra centrifugada; La cuantificación de CRA se dio a través de la diferencia entre el volumen inicial de agua y el que se recupera después de la centrifugación. (Chau et al., 2007).

$$CRA = \frac{(M2 - (M1 - M3))}{M1 * D}$$

Dónde: CRA, es la capacidad de retención de agua expresada en ml de agua por g de muestra; M1, es la masa de muestra pesada en g; M2, es la masa de precipitado obtenido en g; M3, es la masa de la proteína soluble en g, y D, es la densidad del agua a 25 °C.

### 2.3.2 Capacidad de Emulsificante (CE)

Se preparó soluciones proteicas a concentraciones de 0,4 % y 0,6 % con una solución de NaCl 1M. en 100 ml de agua. El pH de cada solución se ajustó a 4, 6 y 8 con una solución de HCl 1N y NaOH 1N. Cada solución fue incubada a temperatura ambiente por 30 min, para ver las dispersiones fueron agitadas en una licuadora a una velocidad de 4000 rpm durante 60 segundos. Posteriormente, a la muestra preparada en agitación se le adicionó el aceite de maíz a una velocidad de 1ml/seg hasta quebrar la emulsión. El mismo procedimiento se siguió en la solución sin proteína (blanco). La CE fue calculada según la siguiente formula (Sathe & Salunkhe, 1981).

$$CE = \frac{(A1 - A2)}{S} \times 100$$

Dónde: A1, es el aceite añadido (ml); A2, es el aceite añadido blanco (ml) y S, es la solución preparada (100 ml)

### 2.3.3 Capacidad de Formación de Espuma (CFE)

Se preparó en tubos de ensayo de volumen 100 ml soluciones proteicas de 0,4; 0,6 y 0,8 % (APQ) con agua destilada. luego se ajustó el pH a 4; 6 y 8 a cada solución proteica. Una vez ajustado el pH se procedió a agitar en la licuadora a una velocidad de 6000 rpm por un tiempo de 3 minutos. Finalmente, el batido se transfirió a una probeta graduada y se midió el volumen incrementado a los 30 segundos Chau et al., (2007). La capacidad de formación de espuma se expresó como porcentaje de aumento de volúmenes, basándose en los volúmenes iniciales y después de la formación de espuma mediante la siguiente ecuación:

$$CFE = \frac{(VDB - VAB)}{VAB} \times 100$$

Dónde: CFE, es la capacidad de formación de espuma; VDB, es el Volumen después del batido y VAB, es el Volumen antes del batido.

## 2.4 Análisis estadístico

El diseño estadístico respectivo fue el diseño completamente aleatorizado y las diferencias significativas de los resultados se analizaron a través de análisis de varianza, seguido de una comparación múltiple de medias por el test LSD (Least significant difference) de Fisher ( $p < 0,05$ ) para identificar diferencias significativas entre todos los tratamientos del estudio. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado. El análisis estadístico se realizó empleando el software estadístico Statgraphics Centurión XVIII.

## 3 | RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 3.1 Resultados de la extracción y cuantificación de proteínas de quinua

El rendimiento de extracción proteica de quinua de la variedad blanca de Junín, se reporta en la tabla 1; en ellas se precisa, el porcentaje alto ( $74,20 \% \pm 0,23$ ) se obtuvo a las condiciones de pH 8,5 de solubilización y pH 4,5 de precipitación del nitrógeno. No obstante, en cuanto a la pureza proteica ( $50,94 \% \pm 0,14$ ), este tratamiento no es directamente proporcional a la cantidad de proteína extraída. Y según los reportes científicos, la disminución de la pureza puede deberse a un aumento en la cantidad de componentes no proteicos que coprecipitan con los aislados proteicos (Ruiz et al., 2016). En cambio el tratamiento (T5) cuando las condiciones de pH 10,0 (solubilización de nitrógeno) y pH 5,5 (precipitación de nitrógeno), el rendimiento en la extracción es baja ( $32,10 \% \pm 0,09$ ), pero posee una pureza proteica superior ( $59,54 \% \pm 0,08$ ); lo cual denota en que la relación entre el porcentaje de proteína extraída y la pureza proteica no guarda una relación directa y tampoco es inversamente proporcional, sino de las condiciones de pH a la que las muestras

son sometidas.

Tratamientos	pH solubilizacion	pH precipitación	Rendimiento de extracción proteico (%)		Cuantificación por el método Kjeldahl (%)	
			$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
T1	8,0	4	59,67 <sup>bc</sup>	± 0,32	54,25	± 0,21
T2	8,5	4,5	74,20 <sup>bc</sup>	± 0,23	50,94	± 0,14
T3	9,0	4	49,30 <sup>ab</sup>	± 0,13	65,30	± 0,11
T4	9,5	4,5	65,09 <sup>c</sup>	± 0,25	52,60	± 0,17
T5	10,0	5,5	32,10 <sup>a</sup>	± 0,09	59,54	± 0,08
T6	10,5	4	50,57 <sup>ab</sup>	± 0,12	50,60	± 0,05

Tabla 1: Extracción y cuantificación de proteína de quinua variedad blanca Junín

*Dónde:*  $\bar{x}$ , es la media y S, es la desviación estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con  $\alpha = 5\%$ .

Con respecto a la extracción de proteína de quinua variedad rosada de Junín, como se aprecia en la tabla 2, a condiciones de pH 9,0 de solubilizacion y a pH 4,5 de precipitación alcanzo alto porcentaje del rendimiento de extracción de proteína (72,86% ± 0,31); lo propio, la pureza de la proteína es alta (60,99% ± 0,22) en comparación al resto de los tratamientos. En tanto, el tratamiento a las condiciones de pH 10,5 de solubilizacion y pH 3,0 de precipitación se obtuvieron un porcentaje de rendimiento baja (47,58% ± 0.21), cuya pureza proteica fue también relativamente baja (52,20 % ± 0.08). Por tanto, los resultados expresados demuestran una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) cuando las muestras de quinua de ambas variedades fueron sometidas a escalas de pH establecidas en el presente estudio.

Tratamientos	pH solubilizacion	pH precipitación	Rendimiento de extracción proteico (%)		Cuantificación por el Método Kjeldahl (%)	
			$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
T1	8,0	4	58,59 <sup>b</sup>	± 0,20	31,45	± 0,15
T2	8,5	4,5	69,56 <sup>c</sup>	± 0,27	30,49	± 0,18
T3	9,0	4,5	72,86 <sup>a</sup>	± 0,31	60,99	± 0,22
T4	9,5	5,5	62,95 <sup>b</sup>	± 0,13	57,58	± 0,17
T5	10,0	5,5	50,04 <sup>b</sup>	± 0,23	41,22	± 0,18
T6	10,5	3	47,58 <sup>b</sup>	± 0,21	52,20	± 0,08

Tabla 2: Extracción y cuantificación de proteína de quinua variedad rosada Junín

*Dónde:*  $\bar{x}$ , es la media y S, es la desviación estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con  $\alpha = 5\%$ .

Los reportes científicos acerca de extracción de proteínas demuestran que a condiciones de pH alcalino (9,0) de solubilización, y precipitada a pH 4,5 los rendimientos de extracción de proteína vegetales son relativamente altos, en el caso de la extracción proteica de nuez de marañón se obtuvo un rendimiento de 84,4 – 86.6 % en base húmeda y 90,0 – 91,3 % en base seca. (Ventura, 2003). En cambio, el rendimiento de extracción de aislado proteico de soya fue 85,45 en base seca % (Ávila, 2011). Y, a partir de la harina de quinua desgrasada proveniente de VI región Chile, el rendimiento de extracción proteica alcanzó a 77,2 %, la materia prima que contenía  $12,7 \pm 0,4$  % de proteína (Rivera, 2006). Asimismo, cuando las semillas de quinua poseía un contenido de proteína de  $14,03 \pm 0,25$ , la solubilidad de la proteína aumentaba gradualmente con el aumento de los valores de pH, de modo que, la máxima solubilidad de la proteína obtenida fue a pH alcalino 10,0 ( $267,35 \pm 1,26$ ) y luego de la precipitación de la proteína a pH 4,5 se obtuvo un rendimiento de extracción de  $88,74 \% \pm 0,53$ , considerándose así a estas condiciones como el mejor rendimiento en comparación al resto de los tratamientos estudiados (Elsouhaimy et al., 2015). En tanto, a las condiciones de solubilización de pH 9 y 11 utilizando NaOH, mostraron el contenido de proteína de los aislados de proteína de quinua (QPI) de 78,7 % a 86 %, lo que indica que el pH afecta el rendimiento de proteína (Ruiz et al., 2016). Otro estudio reportó un rendimiento máximo de proteína de 76.3% de quinua variedad pasankalla a las condiciones de pH de extracción 11 y NaCl 0.1 N (Guerreo-Ochoa et al., 2015). se afirma que, a un pH más alcalino, las proteínas tienen una carga cada vez más negativa debido a la ionización de los grupos carboxilo y la desprotonación de los grupos amina, entonces, como resultado, se potencia la repulsión electrostática entre las proteínas cargadas negativamente. Esto aumenta las interacciones proteína-agua y, por lo tanto, la solubilidad de la proteína (Ruiz et al., 2016). El contenido de proteína fue del 75 % en el aislado proteico de quinua amarga y del 66,63% para el aislado proteico de quinua negra, la extracción se llevó a cabo a una extracción alcalina (pH 9) y una precipitación ácida (pH 5) (Díaz, 2016). Asimismo, Sobota et al. (2020) asegura, que los contenidos de albúmina y globulina en semillas de quinua se encuentran al alrededor del 64,3% de la proteína total. Frente a estos datos encontrados y en comparación con el presente estudio, el rendimiento de extracción de la proteína de quinua de la variedad blanca de Junín y rosada de Junín son relativamente inferior. Además, se evidencia que el pH influye significativamente ( $p\text{value} < 0,05$ ), tanto el rendimiento de extracción de proteína y a la pureza proteica de la muestra extraída. Es importante señalar, que, a un pH más alcalino, las proteínas tienen una carga cada vez más negativa debido a la ionización de los grupos carboxilo y la desprotonación de los grupos amina. Como resultado, se potencia la repulsión electrostática entre las proteínas cargadas negativamente. Esto aumenta las interacciones proteína-agua y, por lo tanto, la solubilidad de la proteína (Ruiz et al., 2016). Pero también es importante evitar la obtención de aislado proteico de quinua a un pH de extracción de 11, dado que conduce a la desnaturalización de la proteína (Abugoch et al., 2009).

## 3.2 Propiedades tecnofuncionales del aislado proteico de quinua

### 3.2.1 Análisis de la capacidad de retención de agua de las proteínas

la capacidad de retención de agua (CRA) es un factor elemental para la formulación de productos alimenticios que influyen en la calidad de los alimentos fabricados. La CRA se evalúa midiendo la capacidad de la harina para retener agua bajo una fuerza de gravedad centrífuga, considerando agua atrapada físicamente, capilar, ligada e hidrodinámica (Pellegrini et al., 2018).

Tratamiento	pH	CRA					
		Proteína Blanca Junín (ml/g)			Proteína Rosada Junín (ml/g)		
		$\bar{x}$	$\pm$	S	$\bar{x}$	$\pm$	S
T1	3.00	3,30 <sup>ab</sup>	$\pm$	0,30	3,4944 <sup>a</sup>	$\pm$	0,39
T2	4.00	3,22 <sup>ab</sup>	$\pm$	0,19	3,1949 <sup>a</sup>	$\pm$	0,30
T3	5.00	2,92 <sup>a</sup>	$\pm$	0,33	2,5942 <sup>a</sup>	$\pm$	0,25
T4	6.00	3,29 <sup>ab</sup>	$\pm$	0,22	2,9764 <sup>a</sup>	$\pm$	0,09
T5	9.00	3,52 <sup>b</sup>	$\pm$	0,08	3,8739 <sup>a</sup>	$\pm$	0,19

Tabla 3: Capacidad de retención de agua de la proteína de quinua

Dónde:  $\bar{x}$ , es la media y S, es la desviación estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con  $\alpha = 5\%$ .

En este estudio, los valores establecidos de pH no influyen significativamente ( $p > 0,05$ ) la capacidad de retención de agua del aislado proteico de quinua tanto de la variedad blanca Junín y de rosada Junín, tal como se ilustra en la tabla 3. Aunque, es evidente para la variedad blanca Junín a las condiciones de pH 4 denota un valor de CRA relativamente superior (3,30 (ml/g)  $\pm$  0,19) en comparación a los otros tratamientos. Mientras, para la variedad rosada junin a un pH 9 el valor de CRA superior alcanzado fue 3,87  $\pm$  0,19, pero en términos estadísticos no hay diferencia significativa con un nivel del 95.0% de confianza.

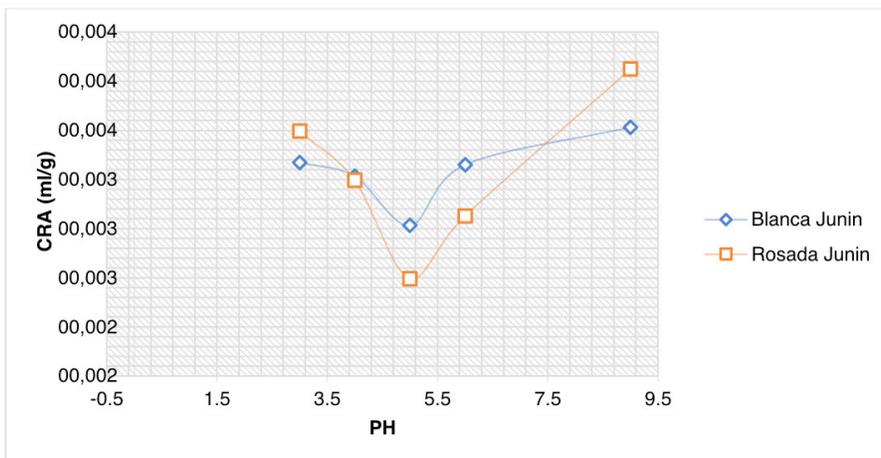


Figura 1: Capacidad de retención de agua del extracto proteico de quinua blanca Junín y rosada Junín.

La figura 1, ilustra el comportamiento de CRA de las muestras estudiadas, en donde en el punto isoeléctrico la capacidad de retener agua es baja. Esta capacidad aumenta conforme aumenta y/o disminuye el pH del punto isoeléctrico de la proteína. Esta característica le atribuye que el aislado proteico de quinua de ambas variedades estudiadas, tienen una capacidad de retener agua a pH ácido; por lo que su utilidad se orientaría a la industria de jugos que se elaboran a este pH, y de igual modo a productos de panadería, carnes embutidas, salchichas y geles alimentarios. Los valores de CRA encontrados para el aislado proteico de maracuyá fue  $2,85 \pm 0,7$  ml agua/ g (Martinez, 2011). Y para el aislado proteico de quinua proveniente de la región VI Chile, la CRA oscila entre  $3,1 - 4,0$  ml de agua/ g de aislado proteico el valor máximo corresponde a pH 4 y el mínimo a pH 7 y afirma que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre cada escala de pH establecida en su estudio. Por su parte, Rivera (2006) a distintos pH establecidos en su trabajo determinó la CRA un valor mínimo de  $2,5$  ml/g aislado proteico a pH 5, hasta un valor máximo de  $3,0$  ml agua/g aislado a pH 3, lo cual evidencia, que, a pH ácido ha conseguido mayor capacidad de retención de agua. Similar comportamiento fue también en el presente estudio; a pH 3 la CRA de APQ variedad blanca Junín fue  $3,3$  ml/g  $\pm 0,30$  y  $3,5$  ml/g  $\pm 0,39$  para APQ variedad rosada Junín. Asimismo, otros estudios evidencian que valores de CRA de proteína de quinua de  $3,94 \pm 0,06$  ml/g (Elsouhaimy et al., 2015), siendo así, la proteína de quinua es ligeramente superior a la proteína de trigo ( $3.67 \pm 0.05$  ml/g) y similar a la proteína de soya, la cual se utiliza habitualmente en la nutrición humana ( $4.05 \pm 0.15$  ml/g) (Ashraf et al., 2012). Se precisa, que para que un aislado proteico presente una alta CRA, no basta solamente con encontrarse desnaturalizado, sino que también es función de cómo se encuentran las moléculas proteicas en los agregados luego del tratamiento. Solamente aquellos agregados en que las proteínas tienen los grupos polares más accesibles al agua

serán los que posean mayor CRA (Abugoch et al., 2009).

### 3.2.2 Análisis de la capacidad de emulsión

El índice de capacidad de emulsión (CE) varió desde  $91,45 \pm 0,10$  hasta  $336,5 \pm 0,12$  (ml de aceite/100 ml de solución) para el APQ variedad blanca Junín. En tanto, para el APQ variedad rosada Junín varió de  $88,00 \pm 0,10$  hasta  $342,0 \pm 0,29$  (ml de aceite/100 ml de solución). De modo que, en la tabla 4, se evidencia que los tratamientos establecidos en el presente estudio poseen una diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ), en donde la capacidad de emulsión del aislado proteico de quinua varía según los factores establecidos para ambas muestras.

Tratamiento	% de APQ	PH	CE					
			MBJ (ml de aceite/100ml de solución)			MRJ (ml de aceite/100ml de solución)		
			$\bar{x}$	$\pm$	S	$\bar{x}$	$\pm$	S
T1	0,40	4	120,5 <sup>ab</sup>	$\pm$	0,20	120,0 <sup>a</sup>	$\pm$	0,02
T2	0,40	6	250,0 <sup>c</sup>	$\pm$	0,30	251,5 <sup>c</sup>	$\pm$	0,29
T3	0,40	8	336,5 <sup>d</sup>	$\pm$	0,12	342,0 <sup>d</sup>	$\pm$	0,38
T4	0,60	4	91,45 <sup>a</sup>	$\pm$	0,10	88,00 <sup>a</sup>	$\pm$	0,10
T5	0,60	6	159,0 <sup>b</sup>	$\pm$	0,11	155,5 <sup>ab</sup>	$\pm$	0,06
T6	0,60	8	218,5 <sup>c</sup>	$\pm$	0,09	222b <sup>c</sup>	$\pm$	0,21

Tabla 4: Capacidad de emulsión de la proteína de quinua

Dónde: APQ, aislado proteico de quinua; MBJ, es la proteína de quinua blanca Junín; MRJ, es la proteína de quinua rosada Junín;  $\bar{x}$ , es la media y S, es la desviación estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con  $\alpha = 5\%$ .

La capacidad de emulsión de APQ variedad Blanca Junín a 0,40 % de concentración, incrementa a medida que aumenta el pH de 4; 6 y 8 ( $120,5 \pm 0,20$ ;  $250 \pm 0,30$  y  $336$ ;  $5 \pm 0,12$  ml de aceite en 100 ml de solución); mientras si la concentración es 0,60 % la capacidad de emulsión disminuye a pH 4; 6 y 8 ( $91,5 \pm 0,10$ ;  $159 \pm 0,11$ ;  $218,5 \pm 0,09$  ml de aceite en 100 ml de solución) respectivamente; lo mismo ocurre para APQ variedad rosada Junín. Si comparamos la CE de APQ y aislado proteico de soja (APS), los valores encontrados de APS fueron entre los rangos de 125 - 355 ml de aceite/100 ml de solución (Mir et al., 2021), y este valor es relativamente inferior a los valores encontrados en este estudio. Esto, posiblemente se debe a un mejor balance hidrofóbico/hidrofílico presentes en las muestras de APQ. Con respecto a concentrado proteico de tarwi (*Lupinus mutabilis*) reporta el valor de CE a partir de 59.99 hasta 72 ml de aceite por cada 100 g de muestra. Los resultados de la CE del *Lupinus mutabilis* a pH de 6 - 8 y concentraciones de 0,4 a 0,8% muestran que al ir incrementando el pH y la concentración, incrementa la capacidad de emulsión (Urrutia, 2010). En cambio, nuestros resultados expresan que, a concentraciones

de 0,4 y 0,6% es menor; esto se explicaría a mayor concentración de proteína es menor la capacidad de emulsión. Esto posiblemente se debe que a mayor concentración del medio se dificulta la expansión de las áreas hidrofóbicas las que interaccionan con la fase lipídica ya que se tendría un medio saturado. Shen et al., (2021) al estudiar la capacidad emulsionante de las dispersiones de aislado proteico de quinua al 7 % p/v a pH 5,0, 6,0, 7,0 y 8,0 encontró valores de la capacidad emulsionante más alta, alrededor del 60 %, a pH 8,0. También se encontraron valores de capacidad emulsionante de aproximadamente 60% y 65% para dispersiones de APQ al 2% a pH 9,0 y 11, respectivamente. Asimismo, en términos de dispersión de aceite en un área interracial, la capacidad de emulsión varió desde  $1,24 \pm 0,05$  m<sup>2</sup>/g para una suspensión de proteína al 0,1 % hasta  $3,38 \pm 0,31$  m<sup>2</sup>/g para una suspensión de proteína al 3 % con un promedio de  $2,10 \pm 0,99$  m<sup>2</sup>/g (Elsohaimy et al., 2015). En cambio, Tavano et al., (2022) encontró valores bastante bajo de  $0,157 \pm 0,007$  m<sup>2</sup>/g de CE para APQ. También se encontraron valores de capacidad de emulsión de las harinas de quinua en el rango de 15,00 mL/100 mL y 41,00 mL/100 mL con diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre ellas (Pellegrini et al., 2018). En general, un aumento en el pH de emulsificación condujo a un aumento en la capacidad de emulsión de aislado proteico de quinua, y a medida que incrementa la concentración de APQ disminuye la CE.

### 3.2.3 Análisis de la capacidad de formación de espuma

Con respecto a la capacidad de formación de espuma (CFE), Los tratamientos establecidos en el presente estudio poseen una diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ), en donde la CFE varía de  $2.73 \pm 0.18$  % hasta  $60.15 \pm 1.95$  % para APQ variedad blanca junio. Mientras, la CFE para el APQ variedad rosada Junín varia de  $1.25 \pm 0.20$  % hasta  $50.4 \pm 0.20$  %, respectivamente.

Tratamientos	% de APQ	pH	CFE			
			APQ Blanca Junín (%)		APQ Rosada Junín (%)	
			$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
T1	0,80	4,00	4.54 <sup>a</sup>	± 0.74	4.5 <sup>b</sup>	± 0.40
T2	0,80	6,00	45.45 <sup>e</sup>	± 0.60	48.75 <sup>f</sup>	± 1.10
T3	0,80	8,00	60.15 <sup>g</sup>	± 1.95	50.4 <sup>f</sup>	± 0.20
T4	0,60	4,00	2.73 <sup>a</sup>	± 0.18	4.25 <sup>b</sup>	± 0.02
T5	0,60	6,00	25.8 <sup>c</sup>	± 1.90	28.75 <sup>d</sup>	± 0.80
T6	0,60	8,00	50.0 <sup>f</sup>	± 1.40	45.4 <sup>e</sup>	± 1.00
T7	0,40	4,00	2.77 <sup>a</sup>	± 0.12	1.25 <sup>a</sup>	± 0.20
T8	0,40	6,00	18.94 <sup>b</sup>	± 0.03	20.21 <sup>c</sup>	± 1.10
T9	0,40	8,00	35.21 <sup>d</sup>	± 0.18	31.25 <sup>d</sup>	± 1.20

Tabla 5: Capacidad de formación de espuma de la proteína de quinua

Dónde: APQ, aislado proteico de quinua;  $\bar{x}$ , es la media y S, es la desviación estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con  $\alpha = 5\%$ .

Para Elsohaimy et al (2015), la CFE del aislado de proteína de quinua (APQ) osciló entre  $58,37 \pm 2,14$  % para una concentración de proteína de 0,1 % y  $78,62 \pm 2,54$  % para una concentración de proteína de 3 %. Ahora bien, cuando los APQ son tratados térmicamente, resulta significativamente mayor que los APQ nativos. En estos tratamientos térmicos la CFE alcanza a 89,99 % a 80 °C durante 30 min y el valor de CFE más bajo fue 49,92 % cuando los APQ fueron tratados térmicamente a 100 °C durante 15 min (Mir et al., 2021). De la misma manera, Ghumman et al (2021) reportó la CFE de APQ valores que oscila entre 50,8 % y 60,2 %, mientras que la estabilidad de formación de espuma osciló disminuyó entre 38,5 % y 50,4 % respectivamente. En el aislado proteico de tarwi, el volumen de formación de espuma disminuye de 156 a 78 ml al cabo de 90 minutos en un 51,9 %, cuya CFE alcanza a 78 %, el cual es relativamente similar a los valores reportados anteriormente (Urrutia, 2010). En el caso del aislado proteico de maracuyá (*Passiflora edulis f*)” la CFE se obtuvo 98,8 % a una solución de 2 % de NaCl y con las demás concentraciones salinas son bajas (Martínez et al., 2011). Y como se evidencia en el presente estudio, la capacidad de formación de espuma incrementa en función a la concentración de proteína. Una muestra de ello es, a pH 8 con 0,4 % - 0,8 % de APQ variedad rosada la formación de espuma es ( $31,3 \text{ \%} \pm 1,2 - 50 \text{ \%} \pm 0,2$ ). Lo mismo sucede con el APQ variedad blanca, a pH 8 con una solución de APQ (0,60 %- 0,80 %), la capacidad de formación de espuma alcanza valores altos (50.0% - 60.15%). Esto indica a mayor concentración y en solución alcalina la capacidad de formación de espuma es muy alta, y ocurre lo contrario a bajas concentración de APQ a pH acida. Además, los resultados obtenidos en este estudio son relativamente similares con los reportes antes descritos y expresan su potencial uso en el procesamiento de alimentos.

## 4 | CONCLUSIONES

Las diferentes escalas de pH establecidas en este estudio para la extracción de la proteína de quinua de las variedades blanca Junín y rosada Junín, demuestran diferencias significativas en los rendimientos de obtención del APQ ( $p < 0,05$ ). De los cuales se desprende, para la variedad blanca Junín el rendimiento de APQ oscila de  $32,10 \pm 0,09$  % a  $74,20 \pm 0,23$  %; y, para la variedad rosada Junín fue  $47,58 \pm 0,21$  a  $72,86 \pm 0,31$  % respectivamente. y es independiente a la pureza proteica. En cuanto a las propiedades tecnofuncionales, los resultados de capacidad de retención de agua, capacidad de emulsión y capacidad de formación de espuma; expresan valores adecuados para el uso en la industria alimentaria, por cuanto se asemeja a otras proteínas vegetales más usuales en la elaboración de productos agroalimentarios.

## REFERENCIAS

- Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M., 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. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02023x.
- Alosan, M., Thuan-Chew, T., Easa, A., Gammoh, S., Alu'datt, M., Aleid, G., . . . Maghaydah, S. (2022). **Evaluation of quality and protein structure of natural water kefir-fermented quinoa protein concentrates.** *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134614
- AOAC. (1990). Association of Official Agricultural Chemists (AOAC): **Crude Fat in Feeds, Cereal Grains, and Forages.**
- AOAC. (1995). Method 991.20. **Protein (crude) in animal feed Official methods of analysis of the association of official analytical chemists** (19th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ashraf, S., Saeed, S., Sayeed, S., & Ali, R. (2012). **Impact of microwave treatment on the functionality of cereals and legumes.** *International journal of agriculture & biology*, 356-370.
- Ávila, C. (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.** Ecuador: Escuela Politécnica Nacional Quito.
- Barrial-Lujan, A. I. (2014). **Influencia del pH en la extracción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de las variedades blanca Junín y rosada Junín,** Universidad Nacional José María Arguedas. Apurímac, Peru
- Chau, C., Cheung, K., & Wong, Y. (2007). **Functional Properties of Protein Concentrates from Three Chinese Indigenous Legume Seed.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/jf0719555
- Cheftel, J., Cuq, J., & Lorient, D. (1989). **Proteínas Alimentarias: Bioquímica. Propiedades funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas.** Zaragoza, España.: Acribia, S.A.
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Marzieh, S., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). **Quinoa protein: Composition, structure and functional properties.** *Food Chemistry*, 299. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125161
- Díaz, N. (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, Ecuador
- Elsohaimy, S., Refaay, T., & Zaytoun, M. (2015). **Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate.** *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 297-305. doi:10.1016/J.AOAS.2015.10.007
- FAO. (2011). **Food and Agriculture Organisation (FAO) Quinoa: An Ancient Crop to Contribute to World Food Security.** doi:http://www.fao.org/3/aq287e/aq287e.pdf.
- 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. doi:10.1016/j.foodres.2020.109982

- Guerreo-Ochoa, M., Pedreschi, R., & Chirinos, R. (2015). **Optimised methodology for the extraction of protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. *International Journal of Food Science & Technology*, 50, 1815–1822. doi:10.1111/ijfs.12834
- Liu, J., Ru, Q., & Ding, Y. (2012). **Glycation a promising method for food protein modification: physicochemical properties and structure, a review**. *Food Research International*, 49(1), 170-183. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.034
- Martinez, J. (2011). **Estudio fisicoquímico funcional de los aislados proteicos en semillas de maracuyá (*Passiflora edulis* f)**. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona*.
- Mir, N. A. (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(1), 181-194. doi:10.1016/j.foostr.2021.100189
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2019). **Effect of pH and holding time on the characteristics of protein isolates from *Chenopodium* seeds and study of their amino acid profile and scoring**. *Food Chemistry*, 28, 165-173. doi:10.1016/j.foodchem.2018.08.048
- 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. doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.006
- Pickardt, C., Hager, T., Eisner, P., Carle, R., & Kammerer, D. R. (2011). **Isoelectric protein precipitation from mild-acidic extracts of de-oiled sunflower (*Helianthus annuus* L.) press cake**. *European Food Research and Technology*.
- Ran, X., Lou, X., Zheng, H., Gu, Q., & Yang, H. (2022). **Improving the texture and rheological qualities of a plant-based fishball analogue by using konjac glucomannan to enhance crosslinks with soy protein**. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75. doi:10.1016/j.ifset.2021.102910
- Rivera, M. (2006). **Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa*)**. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Universidad de Chile, Chile
- Ruiz, G., Xiao, W., Van Boekel, M., Minor, M., & Stieger, M. (2016). **Effect of extraction pH on heat-induced aggregation, gelation and microstructure of protein isolate from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**. *Food Chemistry*, 209, 203-210. doi:10.1016/j.foodchem.2016.04.052
- Sara, A., Mathé, C., Basselin, M., Fournier, F., Aymes, A., & Bianeis, M. (2020). **Optimization of sunflower albumin extraction from oleaginous meal and characterization of their structure and properties**. *Food Hydrocolloids*, 99. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105335
- Sathe, S., & Salunkhe, D. (1981). **Evaluación de las propiedades funcionales del frijol norteño: la emulsión, espumando, viscosidad y gelificación**. Mercedes edit. Caracas, Venezuela.
- Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). **Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate**. *Food Chemistry*, 339(1). doi:10.1016/j.foodchem.2020.127823

Singh, N., Kaur, M., & Sandhu, K. (2005). **Physicochemical and functional properties of freeze-dried and oven dried corn gluten meals.** *Drying Technology*, 23, 975-988. doi:10.1081/DRT-200054253

Sobota, A., Świeca, M., Gęsiński, K., Wirkijowska, A., & Bochnak, J. (2020). **Yellow-coated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) – physicochemical, nutritional, and antioxidant properties.** *J. Sci. Food Agric*, 2035-2042.

Tavano, O., de Miguel, M. J., Del Ciello, G., Martini, M., Bono, A., & Alves, L. (2022). **Isolation and evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein fractions. A nutritional and bio-functional approach to the globulin fraction.** *Current Research in Food Science*, 5, 1028-1037. doi:10.1016/j.crfs.2022.06.006

Urrutia, W. (2010). **Determinación de parámetros óptimos de extracción alcalina para la obtención de aislado proteico a partir de tarwi (*lupinus mutabilis*).** Universidad Nacional Micaela Bastidas. Abancay, Apurímac

Ventura, A. (2003). **Obtención de aislado proteico de la nuez del marañón (*Anacardium Occidentale* L.).** Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Peru.