



## Características del grano y almidón obtenido de ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de color producido en el altiplano peruano

Laqui-Vilca César<sup>1</sup>, Limaylla Guerrero Katherine Milusca<sup>2</sup> y Laqui Wilber<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Puno, Perú.

<sup>2</sup>Instituto Peruano de Investigación en Alimentos Andinos, Puno, Perú

<sup>3</sup>Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Puno, Perú

<https://orcid.org/0000-0003-1553-0410> cesarlaqui@unap.edu.pe,

<https://orcid.org/0000-0003-0339-4036> kmlimaylla@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-6236-8773> wlaqui@unap.edu.pe

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.7365257>

Recibido: 23-02-2022

Aceptado: 02-11-2022

### RESUMEN

Los granos de quinua poseen elevado contenido de almidón, existen ecotipos que no se estudiaron y estas están extinguiéndose, se tuvo como objetivo evaluar las características físicas de tres ecotipos de granos de color y evaluar rendimiento, características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón; primeramente se evaluaron las características físicas del grano, luego se extrajo almidón y evaluó rendimiento, características fisicoquímicas de amilosa y amilopectina por espectrofotómetro y las propiedades funcionales como la temperatura de gelatinización mediante termómetro, mientras que poder de hinchamiento, capacidad de absorción e índice de solubilidad fueron evaluados a temperaturas constantes por 30 minutos, centrifugado y secado. Se encontró que los granos contienen entre 10,57 a 11,25% de humedad, 2,31 a 2,86mm<sup>3</sup> de volumen, 1250 a 1253kg/m<sup>3</sup> de densidad, 0,820 a 0,880mm de radio y de 280 a 347 granos por gramo, mientras que los granos hidratados mostraron una variación significativa. Se obtuvo rendimientos de 14,62 a 26,76%, 9,46 a 9,74% de amilosa, 90,26 a 90,54% de amilopectina, 65,2 a 69,5°C de temperatura de gelatinización, 6,33 a 15,21g/g de poder de hinchamiento, 1,24 a 4,02% de índice de solubilidad en agua y 2,30 a 4,21g/g de capacidad de absorción de agua en los almidones extraídos. La quinua estudiada posee características físicas similares a otras variedades y las propiedades funcionales de este almidón son limitados por el contenido de amilosa.

**Palabras clave:** Almidón, ecotipos de quinua; características físicas; características fisicoquímicas; propiedades funcionales.



---

## Characteristics of the grain and starch obtained from ecotypes of colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) produced in the Peruvian highlands

### ABSTRACT

Quinoa grains have high starch content, there are ecotypes that were not studied and these are becoming extinct, the objective was to evaluate the physical characteristics of three ecotypes of colored grains and evaluate yield, physicochemical characteristics and functional properties of starch; First, the physical characteristics of the grain were evaluated, then starch was extracted and yield, physicochemical characteristics of amylose and amylopectin by spectrophotometer and functional properties such as gelatinization temperature by thermometer, while swelling power, absorption capacity and solubility index were evaluated. They were evaluated at constant temperatures for 30 minutes, centrifuged and dried. It was found that the grains contain between 10,57 to 11,25% moisture, 2,31 to 2,86mm<sup>3</sup> in volume, 1250 to 1253kg/m<sup>3</sup> in density, 0,820 to 0,880mm in radius, and 280 to 347 grains per gram, while the hydrated grains showed a significant variation. Yields of 14,62 to 26,76%, 9,46 to 9,74% of amylose, 90,26 to 90,54% of amylopectin, 65,2 to 69,5°C of gelatinization temperature, 6,33 to 15,21 g/g swelling power, 1,24 to 4,02% water solubility index and 2,30 to 4,21 g/g water absorption capacity in the extracted starches. The quinoa studied has physical characteristics similar to other varieties and the functional properties of this starch are limited by the amylose content.

**Keywords:** starch, quinoa ecotypes; physical characteristics; physicochemical characteristics; functional properties.

## INTRODUCCIÓN

**L**a quinua es uno de los cultivos más antiguos de la Región Andina, con aproximadamente 7000 años de historia de cultivo, grandes culturas como la Inca y Tiahuanaco habían domesticado y conservado este antiguo cultivo (Jacobsen, 2003). Existen evidencias de que fue alimento básico para las poblaciones pre-hispánicas hasta la época de la conquista, sin embargo, la introducción de otros cultivos como el trigo, cebada, avena, habas y arvejas relegó el cultivo de la quinua a zonas marginales de la sierra del Perú y Bolivia; reduciéndose en forma significativa el área cultivada (Gómez y Aguilar, 2016).

Maliro et al. (2017) afirman que la quinua ha sido domesticada en la región del lago Titicaca de Bolivia y Perú, y estos países siguen siendo los principales productores y exportadores de quinua. Últimamente el cambio de los hábitos alimenticios y la preferencia por alimentos nutritivos y orgánicos a nivel global promovieron el reconocimiento y la revaloración de la

quinua, dando lugar al incremento de su producción (Gómez y Aguilar, 2016).

Los pseudocereales son una tendencia actual en la dieta humana ya que son cereales libres de gluten (LG) y tienen un excelente valor nutricional y nutracéutico (Joshi et al., 2019).

La quinua posee más de 60 % de almidón siendo una alternativa de extracción y comercialización (Pumacahua et al. 2017), a su vez el almidón se puede clasificar como de digestión rápida, de digestión lenta o resistente, según la facilidad con que se descomponga en el intestino (Lockyer y Nugent, 2017), además, Lakshmi et al. (2021) reportaron que la quinua contiene entre 0,15 y 0,17% de almidón resistente. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú reporta que hay 3000 ecotipos de quinua de las cuales el INIA conserva el material genético de alrededor 2000 ecotipos, sin embargo, con el aumento del precio y la demanda mundial de este alimento, muchos campesinos andinos se dedicaron a su cultivo, pero con la demanda de consumo se han

perdido más de 40 variedades (Tavernini, 2021).

La caracterización física de los granos de quinua nos permitirá crear nuevas tecnologías de procesamiento, lavado, seleccionado, envasado, entre otros; mientras que la caracterización de sus almidones aportará para poder elegir la variedad o ecotipo según su rendimiento, sus características fisicoquímicas y/o propiedades funcionales deseadas, por lo que es necesario su estudio para darle valor agregado a este alimento. Estos almidones también podrían ser utilizados en la producción de biopelículas y en la microencapsulación de ingredientes alimentarios (por ejemplo, aceites) por su pequeño tamaño de gránulo (Li y Zhu, 2017).

A la fecha no existen estudios de las características físicas de ecotipos de granos de color en la quinua seca e hidratados, además, la hidratación es un proceso complejo que tiene aspectos que son poco comprendidos (Miano y Duarte, 2018) que puede deberse a la variación de su estructura química para la extracción del almidón; ni de la caracterización fisicoquímica y funcional de sus almidones extraídos por molienda húmeda.

Por lo expuesto, esta investigación tiene como objetivo evaluar las características físicas de tres ecotipos de granos de quinua de color, y evaluar el rendimiento, las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón obtenido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron tres ecotipos de granos de quinua de color cultivados en los distritos de Pichacani y Ácora de la Región Puno, Perú. Los ecotipos estudiados fueron: Rosado de Pichacani (RP), Amarillo de Pichacani (AP) y Rojo de Ácora (RA). El proceso experimental y los análisis se realizaron en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, ubicado a 3827 m.s.n.m. aproximadamente.

### Selección de los Granos

Los tres ecotipos de granos de quinua estudiados se observan en la Figura 1, sin procesar presentaron el color característico del pericardio y del episperma que según la Norma Técnica Peruana 205.062:2009 lo clasifica como quinua de color (INACAL, 2009). La quinua se seleccionó manualmente, separando los granos dañados e impurezas.



**Figura 1.** Fotografía de los granos de quinua de color correspondiente a los ecotipos (a)Rosado de Pichacani, (b)Amarillo de Pichacani y (c)Rojo de Ácora.

### Caracterización Física de los Granos

Se realizó la caracterización de los granos sin hidratación e hidratados según los métodos planteados por Pumacahua (2011). Se determinó (1) el volumen por desplazamiento de líquidos (tolueno) empleando una probeta graduada de 10 ml, (2) la densidad se calculó conociendo la masa y usando una balanza analítica digital con sensibilidad de 0,001 g y el volumen, (3) el radio de la esfera aplicando la fórmula matemática de la esfera (ecuación 1) siendo necesario despejar el valor de “r” (ecuación 2) y (4) las unidades de granos por gramo donde se contabilizó la cantidad de granos de quinua contenidas en un gramo de quinua.

(Ecuación 1)

$$V_{\text{grano}} = \frac{\text{Volumen desplazado (de 1 g de quinua)}}{N^{\circ} \text{ de granos}}$$

Donde:

$$V_{\text{grano}} = \text{Volumen del grano (mm}^3\text{)}$$

$$r = \left( \sqrt[3]{V \frac{3}{4\pi}} \right) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

$$V = \text{volumen del grano (mm}^3\text{)}$$

$$r = \text{radio del grano (mm)}$$

Para la adquisición de imágenes de los granos de quinua sin hidratación se empleó un escáner HP Scanjet 200 según lo realizado por Cleva et al. (2017) con la finalidad de contrastar el tamaño de los granos con lo obtenido empleando la ecuación 2. Los granos de quinua se distribuyeron linealmente y fueron colocados en dirección paralela a una regla en centímetros.

La determinación de la humedad de los granos se realizó por el método de pérdida de humedad por secado según la metodología descrita por la AOAC 945.15 -1945.

### **Extracción de almidón de quinua por molienda húmeda**

Para la extracción del almidón de los ecotipos RP, AP y RA se empleó la metodología descrita por Pumacahua (2014) y Arzapalo et al. (2015) con algunas modificaciones. Los granos seleccionados y lavados se pasaron por hidratación en una solución de 0,20 % de bisulfito de sodio por 6 horas para ser sometidos a la molienda 1 en dos tiempos (t1 de 4 segundos para separar el germen, y t2: 2 minutos para separar la fibra y el agua) con el uso de una licuadora, para luego pasar por el centrifugado 1 con la finalidad de extraer el

agua excedente y por el centrifugado 2 para separar la proteína, se secó en una estufa eléctrica, molió en un molino de martillo, tamizó y finalmente envasó el almidón como se detalla en la Figura 2.

### **Rendimiento de los almidones de quinua**

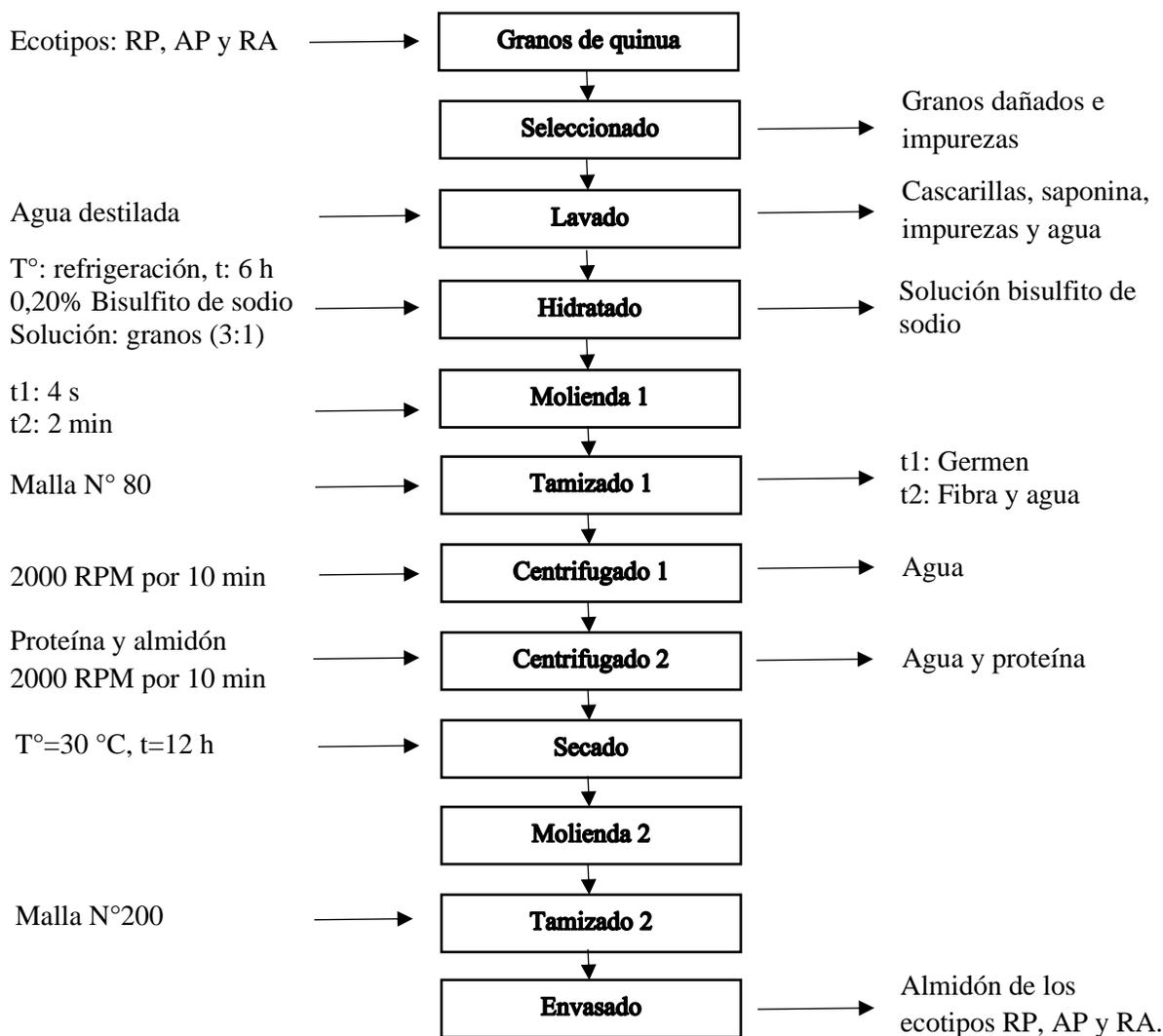
Se determinó mediante la relación de peso seco del almidón y del peso de los granos de quinua expresado en porcentaje según la metodología de Velásquez-Barreto y Velezmoro (2018) con algunas modificaciones, empleando la ecuación 3.

(Ecuación 3)

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{peso total del almidón}(g)}{\text{peso de los granos de quinua}(g)} \times 100\%$$

### **Características Físicoquímicas**

Se evaluó el Contenido de amilosa y amilopectina según la metodología ISO 6647-2 (2011), utilizando el método de colorimetría de yodo estandarizado. con lectura de espectrofotómetro a 620 nm. El contenido de amilopectina se determinó por la diferencia de cien menos el contenido de amilosa.



**Figura 2.** Flujograma de obtención de almidón de quinua.

### Propiedades Funcionales

La temperatura de gelatinización (TG) se determinó según la metodología de Grace (1977), se pesó 10 g de almidón, se disolvió en agua destilada hasta completar a 100 ml. Posteriormente se calentó agua en un vaso

precipitado de 250 ml a 85 °C. De la solución de almidón preparada se midió 50 ml de la suspensión en un vaso precipitado de 100 ml. El vaso con la muestra se introdujo en el vaso precipitado con agua a 85 °C, se agitó con el termómetro constantemente la solución de

almidón hasta que se forme una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos. La temperatura de gelatinización se leyó directamente en el termómetro.

El poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y capacidad de absorción de agua (CAA) se determinaron usando la metodología descrita por Solarte et al. (2019) con algunas adaptaciones, preparándose suspensiones de almidón a una concentración del 4 % P/V empleando tubos con tapa rosca de la centrífuga y se calentaron a 55, 65, 75 y 85°C en el equipo de baño María con agitación frecuente por 30 min. Después se enfrió las muestras hasta 25 °C, sumergiendo los tubos cerrados en un recipiente con agua fría, éstos se centrifugaron a 4900 RPM por 30 min. Luego, se separó el sobrenadante para cuantificar el porcentaje de solubles y de gel formado. Los sobrenadantes se colocaron en cápsulas y fueron llevados a una estufa eléctrica a 70 °C por 12 horas. Para calcular el PH, el ISA y la CAA se utilizaron las ecuaciones (4), (5) y (6) respectivamente:

(Ecuación 4)

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{peso de solubles (g)}}$$

(Ecuación 5)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)} \times \text{volumen del sobrenadante (ml)} \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

$$CAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

### Análisis Estadístico

Se usó el programa estadístico Statgraphics Centurion Versión 19.1.2. para el análisis de varianza en las características físicas de los granos, características fisicoquímicas, rendimiento y temperatura de gelatinización del almidón de los granos de quinua, además, se usó Microsoft Office Excel 2011 para el análisis de varianza para dos factores como las propiedades funcionales de poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de agua, en ambos programas se consideró evaluar los datos obtenidos al 0,05 de significancia y la desviación estándar para el promedio con un n=3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización Física de los Granos

#### *Granos sin hidratación*

Los resultados se presentan en el Cuadro 1. Habiéndose obtenido que la humedad de la quinua del ecotipo RP (11,25 %) superó a los demás ecotipos estudiados, seguido de AP (10,71 %), finalmente RA (10,57 %), el volumen de 2,86 mm<sup>3</sup>, 2,58 mm<sup>3</sup> y 2,31 mm<sup>3</sup>,

la densidad de 1253 kg/m<sup>3</sup>, 1250 kg/m<sup>3</sup> y 1253 kg/m<sup>3</sup>, el radio de 0,880 mm, 0,851 mm y 0,820 mm, respectivamente. Por otro lado, los granos de quinua del ecotipo RP obtuvieron la menor cantidad de granos por gramo (280), seguido de AP (310), finalmente RA (347).

**Cuadro 1.** Caracterización de las propiedades físicas de tres ecotipos de granos de Quinoa (n=3)

Ecotipos	Humedad (%)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Radio (mm)	Nº granos / gramo
<b>RP</b>	11,25 ± 0,08	2,86 ± 0,070	1253 ± 0,6	0,880 ± 0,006	280,0 ± 3,6
<b>AP</b>	10,71 ± 0,18	2,58 ± 0,080	1250 ± 1,0	0,851 ± 0,007	310,0 ± 5,0
<b>RA</b>	10,57 ± 0,20	2,31 ± 0,067	1250 ± 0,6	0,820 ± 0,008	347,0 ± 3,6

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

**RP** se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, **AP** se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y **RA** se refiere a Rojo de Ácora.

Además, se obtuvo imágenes de los tres ecotipos de granos de quinua alineados a una regla de medida en centímetros procediendo a contar el número de granos en 4 cm para ser dividido entre dos, como se evidencia en la

Figura 3, para respaldar los resultados del radio (mm) obtenidos en el Cuadro 1. Encontrándose que los ecotipos RP, AP y RA tienen una media de radio de 0,95 mm, 0,83 mm y 0,90 mm, respectivamente.



**Figura 3.** Imagen de los granos de quinua de los ecotipos (a) RP, (b) AP y (c) RA alineada a la regla en centímetros.

El valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe diferencia significativa en la media de Humedad, Volumen, Densidad, Radio y N° de granos por gramo para cada ecotipo; con un nivel del 95,0 % de confianza. La humedad obtenida de los tres ecotipos de granos de quinua varía entre 10,57 a 11,25 % son superiores al 10 % obtenido por Arapa y Padrón (2015) y similares a lo reportado por Pumacahua et al. (2016) que obtuvo entre 10,20 a 10,99 % para las variedades Kancolla, Salcedo Inia, Blanca de Juli y Pasankalla, pero son inferiores a lo reportado por Arzapalo et al. (2015) quienes obtuvieron 11,34 a 11,66 % para las variedades Collana negra, Pasankalla roja y Blanca Junín y por León et al. (2021) que obtuvieron entre 11,50 a 16,30 %, por tanto, se encuentra dentro del requisito de 13 % establecido por el Codex Alimentarius (2020) y del 13,5 % establecido por la Norma Técnica Peruana para el grano de quinua (INACAL, 2009).

El volumen obtenido de los tres ecotipos de granos varía entre 2,31 a 2,86 mm<sup>3</sup>, éstos son similares a lo reportado por Pumacahua (2014) quien obtuvo valores de 2,33 a 2,41 mm<sup>3</sup> para otras variedades de quinua, y por Kousalya et al. (2019) que obtuvieron 2,4 ml para 1000 granos de quinua (equivalente a 2,4 mm<sup>3</sup> para un grano) considerando que cada

variedad y ecotipo poseen diferentes volúmenes.

La densidad del grano de los tres ecotipos de granos de quinua varía entre 1250 a 1253 kg/m<sup>3</sup>. Los resultados coinciden con lo reportado por Pumacahua et al. (2016) donde obtuvieron valores 1169 a 1277 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, son mayores a lo reportado por Pumacahua (2014) con 1213,1 a 1226,4 kg/m<sup>3</sup>; por Vilche et al. (2003) quienes obtuvieron 1065 kg/m<sup>3</sup> y por Arapa y Padrón (2015) quienes obtuvieron un valor de 1,0273 g/ml (equivalente a 1027,3 kg/m<sup>3</sup>) que estudiaron otras variedades de quinua.

El radio del grano de los tres ecotipos estudiados varía entre 0,820 a 0,880 mm, y estos resultados fueron respaldados por la figura 3 donde el radio varía entre 0,83 a 0,95 mm. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Pumacahua et al. (2016) donde obtuvieron un diámetro que varía entre 1,73 a 1,88 mm (equivalente a 0,865 a 0,94 mm de radio) y son superiores a lo obtenido por Vilche et al. (2003) quienes reportaron 1,506 mm de diámetro (equivalente a 0,753 mm de radio) para otras variedades de quinua. La NTP 205.062:2009 clasifica los granos de quinua por el tamaño de su diámetro promedio (INACAL, 2009), encontrándose que el ecotipo RA es de tamaño “medianos”,

mientras que los ecotipos RP y AP son del tamaño “grandes”.

El número de granos por gramo de los tres ecotipos estudiados varían entre 280 a 347 granos en un gramo, existiendo diferencia significativa entre las medias de los tres ecotipos. Observándose que RP por tener menor cantidad de granos es el más pesado (3,58 mg de masa unitaria) seguido de los ecotipos AP (3,23 mg de masa unitaria) y RA (2,88 mg de masa unitaria), la masa unitaria fue calculado dividiendo 1 g entre el número de granos en éste peso multiplicado por 1000. Valores similares reportó Pumacahua (2014) que obtuvo entre 2,92 a 2,97 mg de masa unitaria.

**Cuadro 2.** Caracterización de las propiedades físicas de tres ecotipos de granos de Quinua hidratados (n=3)

Ecotipos	Humedad (%)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Radio (mm)	N° de granos hidratados/ gramo
<b>RP</b>	30,22 ± 0,09	4,62 ± 0,045	1111,3 ± 0,6	1,033 ± 0,013	195,0 ± 3,6
<b>AP</b>	31,61 ± 0,10	3,96 ± 0,025	1190,4 ± 0,9	0,982 ± 0,004	212,0 ± 3,0
<b>RA</b>	29,97 ± 0,08	3,46 ± 0,056	1190,5 ± 0,5	0,938 ± 0,005	243,0 ± 4,7

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

**RP** se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, **AP** se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y **RA** se refiere a Rojo de Ácora.

El valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, por lo tanto, existe diferencia estadísticamente significativa en la media de Humedad, Volumen, Densidad, Radio y N° de granos hidratados por gramo para cada ecotipo, con un nivel del 95,0 % de confianza.

El ecotipo con mayor porcentaje de humedad (RP) obtuvo valores mayores en volumen, densidad y radio del grano, por otro lado, el número de granos por gramo es menor, siendo así éstas características físicas guardan una estrecha relación entre sí.

#### *Granos hidratados*

Los resultados de la caracterización de las propiedades físicas de los granos de quinua seleccionados con hidratación tales como el contenido de humedad, volumen, densidad, radio y N° de granos hidratados por gramo se presentan en el Cuadro 2.

El resultado de la humedad de los tres ecotipos de granos de quinua hidratados varía entre 29,97 a 31,61 %. Después de 6 horas de hidratación los granos incrementaron su humedad en 20,90 %, 19,40 % y 18,97 % para los ecotipos AP, RA y RP, respectivamente.

Sin embargo, éstos resultados dependen del tiempo, temperatura y ecotipo sometido al proceso de hidratación.

El resultado del volumen de los tres ecotipos de granos de quinua hidratados varía entre 3,46 a 4,62 mm<sup>3</sup>, observándose que el ecotipo que más aumentó en volumen con respecto al volumen del grano sin hidratación fue RP (61,5 %), seguido de AP (53,5 %), por último, RA (49,9 %).

El resultado de la densidad de los tres ecotipos de granos de quinua hidratados varía entre 1111,3 a 1190,5 kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Vilche et al. (2003) quien obtuvo 1188 kg/m<sup>3</sup> a una humedad de grano de 25,8 %, también, es similar a lo reportado por Pumacahua (2014) quien obtuvo valores entre 1124 a 1145 kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados son importantes para el diseño de sistemas de almacenaje, empaque, deshidratación y transporte (Cevilla et al., 2012). Además, éstos resultados están directamente relacionados con el volumen, el radio y el número de granos por gramo reportados en ésta investigación para los granos hidratados.

El resultado del radio de los tres ecotipos de granos de quinua hidratados varía entre 0,938 a 1,033 mm. los resultados son similares a lo reportado por Pumacahua (2014) que obtuvo radios que varían entre 0,97 a 0,99 mm para las variedades Kancolla, Salcedo Inia, Blanca de Juli y Pasankalla. Sin embargo, es mayor a lo reportado por Vilche et al. (2003) quienes obtuvieron 1,607 mm de diámetro (equivalente a 0,8035 mm de radio) a 25,8 % de humedad del grano.

El resultado del número de granos hidratados por gramo de los tres ecotipos de quinua varía entre 195 a 243 granos en un gramo. Se encontró que RP por tener menor cantidad de granos es el más pesado (5,13 mg de masa unitaria) en comparación con los ecotipos AP (4,72 mg de masa unitaria) y RA (4,12 mg de masa unitaria), los datos de masa unitaria fueron obtenidos dividiendo 1 g entre el número de granos en éste peso multiplicado por 1000. Además, Pumacahua (2014) obtuvo valores similares entre 4,8 a 5,1 mg de masa unitaria.

Después del proceso de hidratación se evidenció una variación significativa de las características físicas de los granos de quinua con respecto a la humedad, volumen,

densidad, radio y número de granos por gramo.

### Rendimiento de los almidones de quinua

El rendimiento en la obtención de almidón de quinua de los ecotipos RP, AP, y RA se

presenta en el Cuadro 3, pero el mayor rendimiento lo obtuvo AP (26,76 %), seguido de RP (24,38 %) y por último RA (14,62 %) también, se presentan las fotografías de los almidones extraídos en la Figura 4



**Figura 4.** Fotografías de los almidones extraídos de los granos de quinua de los ecotipos (a) RP, (b) AP y (c) RA.

**Cuadro 3.** Rendimiento del almidón de tres ecotipos de quinua (n=3)

Ecotipos	Rendimiento %
RP	24,38 ± 0,13
AP	26,76 ± 0,13
RA	14,62 ± 0,09

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

RP se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, AP se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y RA se refiere a Rojo de Ácora.

El valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del Rendimiento entre un nivel de Ecotipo y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza. El rendimiento obtenido en la extracción del almidón de los

tres ecotipos varía entre 14,62 a 26,76 % de rendimiento. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Corzo (2018) quien obtuvo de 21 a 24 % y por Arzapalo et al. (2015) quienes obtuvieron almidón por molienda húmeda con 18,95 a 30,62 % de rendimiento, mientras que León et al. (2021) obtuvieron entre 60,13 a 67,48 % de rendimiento por hidrólisis enzimática. Jan et al. (2017) realizaron la comparación en rendimiento obtenido entre el método de remojo en agua y en solución alcalina de granos y harina de quinua, afirmando que con el método alcalino a 0,25 % de NaOH por 24 horas a 4 °C para harina de quinua (48,52 %)

y granos de quinua (43,77 %) se obtuvieron mejores resultados.

### Características Físicoquímicas

El almidón de quinua del ecotipo AP obtuvo mayor contenido de amilosa (9,74 %),

seguido de RA (9,51 %), finalmente RP (9,46 %), en tanto que la diferencia de 100 menos el porcentaje de amilosa corresponde al contenido porcentual de amilopectina, como se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Contenido de amilosa y amilopectina del almidón de tres ecotipos de quinua (n=3)

Ecotipos	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
RP	9,46 ± 0,10	90,54 ± 0,10
AP	9,74 ± 0,12	90,26 ± 0,12
RA	9,51 ± 0,04	90,49 ± 0,04

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

RP se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, AP se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y RA se refiere a Rojo de Ácora.

El valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe diferencia estadísticamente significativa en la media del porcentaje de Amilosa y porcentaje de Amilopectina para cada ecotipo, con un nivel del 95,0 % de confianza. El contenido de amilosa del almidón de los tres ecotipos varían de 9,46 a 9,74 %, estos resultados concuerdan con lo obtenido por Pumacahua (2014) que reportó de 6,7 a 10,5 % de amilosa, mientras que Jan et al. (2017) reportaron 12,10 % de amilosa en comparación con el almidón de maíz que tiene 17,05 % de amilosa, mientras que Almeida et al. (2022) reportan entre 3,01 a 4,82 % de amilosa en 4 variedades de quinua de Brasil. Por lo tanto, el contenido de amilopectina del almidón de los tres ecotipos

varía entre 90,26 a 90,54 % siendo superior al valor de 87,9 % reportado por Jan et al. (2017). La relación de amilosa y amilopectina dependen de su origen botánico. Los almidones regulares contienen aproximadamente 70-80 % de amilopectina y 20-30 % de amilosa, almidones céreos menos del 10 % de amilosa y almidones de alta amilosa más de 40 % de ésta (Schirmer et al., 2013), mientras que Watanabe et al. (2007) indican que el contenido de amilosa en los almidones varía entre 3 a 20 % y Badui (2006) explica que los almidones contienen aproximadamente 17 a 27 % de amilosa, y el resto de amilopectina. Algunos cereales, como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas “céreas” que están

constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90 % de amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal.

### Propiedades Funcionales

El almidón de quinua del ecotipo AP requirió mayor temperatura de gelatinización (69,5 °C), seguido de RA (68,7 °C), finalmente RP (65,2 °C), como se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Temperatura de gelatinización del almidón de tres ecotipos de quinua (n=3)

Ecotipos	Temperatura de Gelatinización (°C)
<b>RP</b>	65,2 ± 0,50
<b>AP</b>	69,5 ± 0,74
<b>RA</b>	68,7 ± 0,45

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

**RP** se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, **AP** se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y **RA** se refiere a Rojo de Ácora.

El valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe diferencia estadísticamente significativa en la media de la temperatura de gelatinización para cada ecotipo, con un nivel del 95,0 % de confianza. Los resultados de temperatura de gelatinización coinciden con lo reportado por Arzapalo et al. (2015) donde obtuvieron valores de 65,50, 68,00 y 68,50 °C en almidón obtenido de granos de quinua de las variedades pasankalla roja, negra collana y blanca Junín, respectivamente, por Oliva et al. (2018) donde obtuvieron rangos de 57,2 a 67,6 °C del almidón de quinua adquirida del mercado de Ipiales – Colombia, y por Jan et al. (2017) que obtuvieron 69,45 °C de TG para el almidón de granos de quinua de la National Bureau of Plant Genetic Resources,

sin embargo, los resultados obtenidos son inferiores a lo reportado por Corzo (2018) que obtuvo 73,33 °C de TG del almidón obtenido a partir de harina de quinua de las variedades Aurora y Blanca dulce de Jericó.

Los resultados de temperatura de gelatinización guardan una relación entre la temperatura y el ecotipo estudiado y se encuentra dentro del rango permitido para los almidones.

Los resultados más altos en poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de agua fue obtenido por el almidón de quinua del ecotipo AP, seguido de RA, finalmente RP. Los

almidones obtenidos fueron sometidos a 55, 65, 75 y 85 °C y los valores de PH, ISA y CAA aumentaron a medida que se aumentó la

temperatura hasta llegar a 85 °C, como se presenta en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Características del poder de hinchamiento del almidón, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de agua de tres ecotipos de quinua (n=3)

Ecotipos	PH (g/g)			
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
RP	6,33 ± 0,02	9,60 ± 0,05	11,92 ± 0,04	14,81 ± 0,04
AP	6,52 ± 0,04	9,95 ± 0,04	12,23 ± 0,06	15,21 ± 0,07
RA	6,41 ± 0,03	9,72 ± 0,04	12,06 ± 0,05	14,90 ± 0,05
Ecotipos	ISA (%)			
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
RP	1,24 ± 0,05	1,89 ± 0,04	2,77 ± 0,05	3,93 ± 0,06
AP	1,84 ± 0,03	1,96 ± 0,03	2,60 ± 0,04	4,02 ± 0,05
RA	1,43 ± 0,02	1,73 ± 0,05	2,36 ± 0,06	3,32 ± 0,04
Ecotipos	CAA (g/g)			
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
RP	2,30 ± 0,05	2,37 ± 0,04	3,51 ± 0,03	3,93 ± 0,05
AP	2,39 ± 0,06	2,47 ± 0,06	3,65 ± 0,04	4,04 ± 0,04
RA	2,45 ± 0,03	2,60 ± 0,05	3,76 ± 0,05	4,21 ± 0,07

Los valores expresados son medias ± desviación estándar

**RP** se refiere al ecotipo Rosado de Pichacani, **AP** se refiere al ecotipo Amarillo de Pichacani y **RA** se refiere a Rojo de Ácora.

La temperatura tiene efecto significativo por lo tanto influyen en el poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua y capacidad de absorción de agua del almidón de quinua, mientras que los ecotipos de quinua no tienen efecto significativo para el poder de hinchamiento y el índice de solubilidad, pero sí influye en la capacidad de absorción de agua, con un nivel del 95,0 % de confianza.

El poder de hinchamiento obtenido del almidón de quinua fue de 6,33 a 14,81 g/g, 6,41 a 14,90 g/g y 6,52 a 15,21 g/g para los ecotipos RP, RA y AP, respectivamente, donde se observa en la tabla 6 que el almidón presentó un ligero aumento del poder de hinchamiento al superar la temperatura de gelatinización. Estos resultados son similares a lo reportado por Almeida et al. (2022) donde estudiaron 4 variedades de quinua de

Brasil habiendo obtenido entre 3,36 a 7,22 g/g evaluados a 40 °C, 6,11 a 9,28 g/g evaluados a 60 °C y entre 12,15 a 15,69 g/g evaluados a 80 °C y por Jan et al. (2017) quienes obtuvieron 12,53 g/g en almidón extraído de los granos de quinua, sin embargo, estos resultados son superiores a lo reportado por Benavides et al. (2021) que obtuvieron entre 3,51 a 4,08 g/g evaluados a 60 °C en almidón obtenido de harina de quinua de las variedades Aurora y Blanca dulce de Jericó, mientras que Arzapalo et al. (2015) obtuvieron entre 0,66 a 0,74 % de poder de hinchamiento del almidón de quinua. A diferencia con el poder de hinchamiento del *Chenopodium álbum*, que obtuvo 1,85 g/g y del maíz de la variedad rattan que obtuvo 18,27 g/g.

El poder de hinchamiento es la cantidad de agua que un almidón puede absorber por gramo de almidón a cierta temperatura y cierta concentración de almidón, mientras que la solubilidad representa los porcentajes de amilosa y amilopectina lixiviados a esa temperatura (Waterschoot et al., 2015). La amilopectina absorbe mucha agua y es en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón (Schirmer et al., 2013), siendo importante debido a que el contenido

de amilopectina en el almidón de quinua varía entre 90,23 a 90,54 %. A su vez, Kerr (1950) afirma que a temperatura ambiente los gránulos de almidón pueden absorber hasta un 30 % de su peso en exceso de agua sin hincharse notablemente, pero, durante el calentamiento, los gránulos de almidón absorben mucha más agua y se hinchan. La baja solubilidad a temperaturas inferiores a 55 °C puede ser atribuida a la estructura cristalina de los gránulos de almidón y a los puentes de hidrógeno formados entre los grupos hidroxilo entre las moléculas (Eliasson, 2017). A temperaturas más altas, parte de los polisacáridos se disuelven y se filtran de los gránulos (Hermansson & Svegmarm, 1996).

El índice de solubilidad en agua obtenido del almidón de quinua fue de 1,24 a 3,93 %, 1,43 a 3,39 % y 1,84 a 4,02 % para los ecotipos RP, RA y AP, respectivamente, donde se observa en la tabla 6 que el almidón presentó un incremento de la solubilidad al superar la temperatura de gelatinización como lo sostiene Park (2018), por lo que podría deberse a la ruptura interna de puentes de hidrógeno. Estos resultados se asemejan a lo reportado por Wu et al. (2017) donde obtuvieron valores desde 0,7 a 4,5 % en

almidones extraídos de 11 variedades y 2 muestras comerciales de granos de quinua, por Cotovanu et al. (2020) que obtuvieron entre 2,50 a 2,92 % del almidón extraído de harina de tres variedades de quinua, y por Almeida et al. (2022) que estudiaron 4 variedades de quinua de Brasil habiendo obtenido entre 2,72 a 7,15 % evaluados a 40 °C, 4,12 a 7,98 % evaluados a 60 °C y entre 7,14 a 10,01 % evaluados a 80 °C, sin embargo, los resultados obtenidos son superiores a lo reportado por Benavides et al. (2021) que obtuvieron entre 1,09 y 0,64 % en almidón extraído de harina de quinua de las variedades Aurora y Blanca dulce de Jericó evaluados a 60 °C, sin embargo, los resultados obtenidos son inferiores a lo reportado por Arzapalo et al. (2015) que obtuvieron entre 4,94 a 5,03 %. Al comparar los resultados obtenidos con otros tipos de almidones estudiados por Ali et al. (2016), el almidón estudiado de los tres ecotipos son similares al almidón de arroz de dos variedades de la India (2 a 4 %), pero es inferior al almidón de maíz (6 a 8 %).

La capacidad de absorción de agua obtenido del almidón de quinua fue de 2,30 a 3,93 g/g, 2,45 a 4,21 g/g y 2,39 a 4,04 g/g, para los ecotipos RP, RA y AP, respectivamente.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Contreras-Jiménez et al. (2019) donde obtuvieron 2,35 g/g en almidón de quinua de la variedad real de Colombia evaluadas a 30 °C, sin embargo, Jan et al. (2016) obtuvieron rangos entre 5 a 60 g/100g de almidón de *Chenopodium album* evaluados a temperaturas de 55 a 95 °C. Sin embargo, es superior al estudio de Ozcan y Jackson (2005) que reportan la capacidad de absorción de agua de 1,77 g gel/g para el almidón de maíz. Jan et al. (2016) explica que la suspensión acuosa de almidón, cuando se calienta por encima de la temperatura de gelatinización, provoca la distracción de la estructura cristalina del almidón y la exposición de las moléculas de agua a los grupos hidroxilo de la amilosa y la amilopectina a través de los enlaces de hidrógeno, lo que provoca el hinchamiento de las moléculas de almidón y una mayor solubilidad debido a la lixiviación de parte del almidón soluble en líquido. Una estructura micelar fuertemente unida del gránulo de almidón puede hacer que sea relativamente resistente a la hinchazón, además, Sasaki et al. (2003) afirman que la amilosa refuerza la red interna dentro del gránulo que restringe el hinchamiento del almidón céreo en mayor medida que el almidón de amilosa común.

## CONCLUSIONES

Las características físicas de a) granos de quinua de color sin hidratación con mayor humedad, volumen, densidad y radio corresponden al ecotipo Rosado de Pichacani, por lo que éste posee el menor número de granos por gramo a diferencia de los otros dos ecotipos y b) granos de quinua de color con hidratación con mayor humedad fue el ecotipo Amarillo de Pichacani, sin embargo el mayor volumen y radio corresponde al ecotipo Rosado de Pichacani que presentó menor densidad después del proceso de hidratación, además que éste posee el menor número de granos por gramo a diferencia de los otros ecotipos estudiados.

El mejor rendimiento en la extracción del almidón fue para el ecotipo Amarillo de Pichacani, que además obtuvo el mayor contenido de amilosa, por lo tanto, el contenido de amilopectina fue el menor a diferencia de los otros ecotipos.

Las propiedades funcionales como la temperatura de gelatinización, el poder de hinchamiento y el índice de solubilidad fue mayor para el ecotipo Amarillo de Pichacani, sin embargo, la Capacidad de absorción de

agua fue superior en el ecotipo Rojo de Ácora que fueron sometidas entre 55 a 75°C.

## REFERENCIAS

- AOAC. (1945). Loss on drying (moisture) in cereal adjuncts. Método AOAC 945.15 - 1945. p.1.
- Almeida, R., Sa, N., Fonseca, J., Monteiro, G., De Souza, C., Da Silva, R., De Alcántara, V., De Alcántara, V. M., & De Almeida, M. (2022). Effect of heat-moisture treatment on the thermal, structural and morphological properties of Quinoa starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 1-7.
- Ali, A., Wani, T. A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2016). Comparative study of the physico-chemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 75–82.
- Arapa, P., & Padrón, C. (2015). Determinación de características físicas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante procesamiento digital de imágenes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5 (2): 148-165.
- Arzapalo, D., Huamán, K., Quispe, M., & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1), 44-54.
- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación: México D.F. p.81-92.

- Cervilla, N.S., Mufari, J.R., Calandri, E., & Guzmán, C.A. (2012). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de *Chenopodium quinoa* Willd. cosechadas en distintos años y provenientes de la Provincia de Salta. En *II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes*. Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina.
- Cleva, M.S., Sampallo, G.M., Rodrigues Da Fonseca, C., Aquino, D.C., Liska, D.O., & Ventre, F.R. (2017). Método para la determinación de la densidad de una muestra de granos enteros de alubia por procesamiento digital de imágenes. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 43(2), 144-148.
- Codex Alimentarius (2020). Normas Internacionales de los Alimentos. Norma para la Quinoa. CXS 333-2019. Adoptada en 2019. Enmendada en 2020. p.4.
- Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, 298, 124982.
- Corzo, D. (2018). Evaluación de las Características del Almidón de Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd) de dos variedades de Cundinamarca como una Posible Alternativa Tecnológica en la Industria de Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá, Colombia. Tesis (título). p. 48.
- Benavides Guevara, R. M., Rodríguez González, I., Corzo Riaño, D. L., & Reyes Méndez, L. M. (2021). Evaluación de las propiedades tecnofuncionales del almidón de dos variedades de quinua cultivadas en Cundinamarca. *Documentos De Trabajo ECBTI*, 2(1).
- Coțovanu, I., Batariuc, A., & Mironeasa, S. (2020). Characterization of Quinoa Seeds Milling Fractions and Their Effect on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough. *Applied Sciences*, 10(20), 7225.
- Tavernini, M. (2021). Al rescate de la quinua de color, los granos olvidados de Perú. El País.
- Eliasson, A.-C. (2017). Carbohydrates in Food. Tercera edición. CRC Press.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú, Lima. ISBN: 978-92-5-309069-3 FAO. p. 130.
- Grace, M. R. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 116 p. Roma, Italia.
- Hermansson, A.-M., & Svegmak, K. (1996). Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 7(11), 345–353.
- Jacobsen, Sven-Erik. (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19(1-2), 167–177.
- Jan, R., Saxena, D.C., & Singh, S. (2016). Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of *Chenopodium (Chenopodium album)* starch, *LWT - Food Science and Technology*, 66, 267–274.
- Jan, K., Panesar, P., & Singh, S. (2017). Process standardization for isolation of quinoa starch and its characterization in comparison with other starches. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 11, 1919–1927.

- Joshi, D. C., Chaudhari, G. V., Sood, S., Kant, L., Pattanayak, A., Zhang, K., Fan, Y., Janovská, D., Meglic, V., & Zhou, M. (2019). Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gains through integrated breeding and genomics approach. *Planta*, 250, 783–801.
- Kerr, R. W. (1950). *Chemistry and Industry of Starch*, Academic Press, New York.
- Kousalya, M. S., Sashidevi, G., & Kanchana, S. (2019). Physico-chemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *International Journal of Agricultural Science and Research*. ISSN(P): 2250-0057, ISSN (E): 2321-0087. 9, 241-350.
- Lakshmi, S., Goudar, G., Singh, M., Dhaliwal, H. S., Sharma, P., & Longvah, T. (2021). Variability in resistant starch, vitamins, carotenoids, phytochemicals and in-vitro antioxidant properties among diverse pigmented grains. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2774–2789.
- León, L., Herrera, V., & González, J. (2021). Evaluation of native “quinoa” varieties *Chenopodium quinoa* (Amaranthaceae) with potential for the malting. *Arnaldo*, 28(2), 383-396.
- Li, G., & Zhu, F. (2017). Quinoa starch: Structures, properties, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 1-48.
- Lockyer, S., Nugent, A.P., (2017). Health effects of resistant starch. *Nutr. Bull.* 42, 10–41.
- Maliro, M., Guwela, V., Nyaika, J., & Murphy, K. (2017). Preliminary Studies of the Performance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes under Irrigated and Rainfed Conditions of Central Malawi. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-9.
- Miano, A.C. & Augusto, P.E.D. (2018), The Hydration of Grains: A Critical Review from Description of Phenomena to Process Improvements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17: 352-370.
- INACAL. (2009). NTP 205.062:2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Requisitos. *Primera edición*, p. 15. Lima, Perú- INACAL.
- Oliva, M., Duque, A., & García-Alzate, L. (2018). Caracterización fisicoquímica del cereal y almidón de Quinoa *Chenopodium quinoa*. *Revista Ion*, Vol 31 (1), 25-29.
- Organización Internacional de Normalización. (2011). Determinación del contenido de amilosa. ISO 6647-1. *Segunda edición*. Suiza: ISO- Draft International Standard.
- Ozcan, S.; Jackson, D. (2005). Functionality Behavior of Raw and Extruded Corn Starch Mixtures. *Cereal Chem*, 82(2), 223–227.
- Park, E. Y., Ma, J.-G., Kim, J., Lee, D. H., Kim, S. Y., Kwon, D.-J., & Kim, J.-Y. (2018). Effect of dual modification of HMT and crosslinking on physicochemical properties and digestibility of waxy maize starch. *Food Hydrocolloids*, 75, 33–40.
- Pumacahua, A. (2011). Estudio de la absorción de agua de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el proceso de Molienda húmeda. Universidad Peruana Unión. Lima. Tesis (título). p. 47.
- Pumacahua, A. (2014). Extração e caracterização de amido de quinua, cañihua e Mirabilis jalapa. Universidade Estadual Paulista

- “Júlio de Mesquita Filho”. São José do Rio Preto. Tese (doutorado). p. 147.
- Pumacahua, A., Limaylla, K., Telis, J., & Lopes, J. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties. *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, 3(1), 23-33.
- Pumacahua, A., Limaylla, K., Telis, J., & Lopes, J. (2017). Water adsorption isotherms and isosteric heat of quinoa starch. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 95-104.
- Sasaki, T., Yasui, T., Matsuki, J., & Satake, T. (2003). Comparison of physical properties of wheat starch gels with different amylose contents. *Cereal Chemistry*, 80, 861-866.
- Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T. (2013). Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*, 32, 52-63.
- Solarte-Montúfar, J., Díaz-Murangal, A., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 35-44.
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197.
- Vilche, C., Gely, M., & Santalla, E. (2003). Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*. 86(1):59-65.
- Watanabe, K., Peng, L., Tang, H., & Mitsunaga, T. (2007). Molecular structural characteristics of quinoa starch. *Food Sci. Technol*, 13(1), 73-76.
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2014). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch - Stärke*, 67, 14-29.
- Wu, G., Morris, C. F., & Murphy, K. M. (2017). Quinoa Starch Characteristics and Their Correlations with the Texture Profile Analysis (TPA) of Cooked Quinoa. *Journal of Food Science*, 82(10), 2387-2395.