

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y  
TECNOFUNCIONAL DE CARBOHIDRATOS TIPO ALMIDÓN DE  
CINCO VARIEDADES DE QUINUA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**NOHELY NOEMÍ MAZA IDONE**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y  
TECNOFUNCIONAL DE CARBOHIDRATOS TIPO ALMIDÓN DE  
CINCO VARIEDADES DE QUINUA”**

**Presentado por:**

**NOHELY NOEMÍ MAZA IDONE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

**Mg.Sc. Elías Peñafiel  
PRESIDENTE**

---

**Dra. Ana Aguilar Galvez  
MIEMBRO**

---

**Dra. Rosana Chirinos Gallardo  
MIEMBRO**

---

**Mg.Sc. Mirtha P. Martínez Tapia  
ASESORA**

---

**Mg.Sc. Fanny E. Ludeña Esquizo  
CO-ASESORA**

**Lima – Perú  
2020**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, que son mi motivación e inspiración. En especial a mi mamá (Maria Elena) por ser mi guía, quien me brindó su amor, paciencia y apoyo incondicional en todo momento. Y todas las personas que de alguna manera colaboraron con la presente investigación, es un logro compartido.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, por su constante esfuerzo, apoyo, confianza y consejos a lo largo de mi carrera universitaria. Gracias por brindarme los recursos necesarios para poder culminar satisfactoriamente esta etapa.

A mi asesora, Mg. Sc. Patricia Martinez, por su invaluable apoyo y tiempo, por los conocimientos impartidos y dedicación durante el desarrollo de la investigación.

A mi coasesora, Mg Sc. Fanny Ludeña por su constante apoyo, preocupación, consejos y respaldo. Muchas gracias por haberme brindado las facilidades para el desarrollo del presente trabajo y por la confianza depositada.

A los miembros del jurado por sus consejos para la mejora del trabajo de investigación.

A la Ing. Fiorela Peña por su estimable ayuda y por sus compartir sus conocimientos, los cuales que fueron muy importantes para el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Julio Vidaurre por su valioso apoyo, y por facilitarme el uso de las instalaciones del Centro de investigación e innovación en granos andinos para la extracción del almidón.

A mis amigos de la universidad que me acompañaron en esta etapa, en especial a Magaly, Miguel, Estefanía, Gaby, Katherine, Shessira y a mis compañeros del círculo de investigación de lácteos y derivados, por su gran e incondicional apoyo, paciencia y alentarme siempre.

A la Dra. Indira Betalleluz por sus constantes ánimos, apoyo y consejos.

A los técnicos de los laboratorios de la FIAL, en especial al Sr. Máx, Juan, Maribel; y al Sr. Enrique del laboratorio de análisis de agua, suelo y medio ambiente, por el apoyo brindado.

Al Vicerrectorado de Investigación de la UNALM por el financiamiento de esta investigación en el marco del "Concurso de Investigación: Innovación Tecnológica UNALM 2016".

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. QUINUA .....	3
2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA .....	3
2.1.2. COMPOSICIÓN.....	4
2.1.3. VARIEDADES DE QUINUA EN EL PERÚ .....	6
2.1.4. USOS.....	12
2.2. ALMIDÓN DE QUINUA .....	13
2.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	13
2.2.2. MORFOLOGÍA.....	14
2.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN .....	14
2.4. PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES .....	18
2.4.1. GELATINIZACIÓN .....	18
2.4.2. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD.....	20
2.4.3. CLARIDAD .....	20
2.4.4. RETROGRADACIÓN.....	21
2.4.5. SINÉRESIS Y ESTABILIDAD EN CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN.....	22
2.4.6. REOLOGÍA.....	22
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
3.1. MATERIALES .....	29
3.1.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	29
3.1.2. MATERIA PRIMA.....	29
3.1.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS .....	29
3.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	31
3.2.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA .....	31
3.2.2. CARACTERIZACIÓN TECNOFUNCIONAL .....	32
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	35
3.3.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN .....	35
3.3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
3.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	39

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>41</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA HARINA DE QUINUA .....	41
4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL .....	41
4.2. EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES DE QUINUA.....	43
4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES DE QUINUA.....	45
4.3.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL .....	45
4.3.2. EVALUACIÓN DEL COLOR.....	49
4.3.3. CONTENIDO DE AMILOSA– AMILOPECTINA .....	52
4.4. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES DE QUINUA .....	54
4.4.1. PODER DE HINCHAMIENTO (PH) Y SOLUBILIDAD (S).....	54
4.4.2. CLARIDAD DE GELES DE ALMIDÓN.....	58
4.4.3. SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN .....	61
4.4.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN .....	64
4.4.5. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN .....	71
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>80</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>81</b>
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	<b>98</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de los valores nutricionales de granos y quinua (100 g porción comestible). .....	4
Tabla 2: Perfil de aminoácidos esenciales (100 g/g proteína).....	5
Tabla 3: Variedades comerciales de quinua en el Perú y sus características .....	7
Tabla 4: Composición proximal de variedades de quinua. ....	9
Tabla 5: Composición química del almidón de quinua.....	13
Tabla 6: Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina .....	17
Tabla 7: Contenido de amilosa en almidones de quinua, arroz y cebada (base seca) .....	18
Tabla 8: Constantes fundamentales para distintos tipos de flujos de alimentos.....	25
Tabla 9: Diseño experimental.....	40
Tabla 10: Análisis proximal de las harinas de quinua .....	42
Tabla 11: Rendimiento de extracción de almidón de cinco variedades de quinua.....	44
Tabla 12: Análisis proximal de almidones de quinua.....	46
Tabla 13: Parámetros de color de los almidones de quinua .....	49
Tabla 14: Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones de quinua.....	53
Tabla 15: Poder de hinchamiento (PH) y solubilidad (S) de los almidones de quinua .....	54
Tabla 16: Transmitancia de los geles de almidón quinua a 4°C.....	59
Tabla 17: Sinéresis (%) en condiciones de refrigeración (4°C) .....	62
Tabla 18: Sinéresis (%) en condiciones de congelación (-18°C) .....	63
Tabla 19: Propiedades térmicas de los almidones de quinua determinadas por la calorimetría diferencial de barrido. ....	65
Tabla 20: Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley que describen el comportamiento del flujo de los geles de almidón .....	73
Tabla 21: Parámetros de la ecuación de ley de potencia que describen las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Panoja, tallo y semilla de algunas variedades de quinua: Junín (1), Hualhuas (2), rosada (3), Marangani (4) y Sacaca (5).....	10
Figura 2: Fotos en el microscopio electrónico de barrido (MEB) que muestran agregados en una muestra de Perú con una ampliación 5000X (A) y gránulos de almidón de una muestra de América del Sur con una ampliación 30000X (B) .....	14
Figura 3: (a) Enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina .....	15
Figura 4: Gelatinización del almidón.....	19
Figura 5: Reograma de diferentes fluidos: 1) Newtoniano; 2) Pseudoplástico, 3) Dilatante, 4) Plástico de Bingham y 5) Herschel-Bulkley. ....	24
Figura 6: flujograma del proceso de extracción del almidón de quinua .....	36
Figura 7: Poder de hinchamiento de los almidones de quinua .....	56
Figura 8: Termogramas de los cinco almidones de quinua gelatinizados.....	65
Figura 9: Termograma del almidón de la variedad Maranganí .....	66
Figura 10: Termograma del almidón de la variedad Blanca de Hualhuas .....	66
Figura 11: Termograma del almidón de la variedad Rosada de Huancayo .....	67
Figura 12: Termograma del almidón de la variedad Blanca de Junín .....	67
Figura 13: Termograma del almidón de la variedad Sacaca. ....	68
Figura 14: Curva de flujo de los geles de almidón .....	73
Figura 15: Barrido de amplitud para los geles de almidones nativos .....	75
Figura 16: Barrido de frecuencia de los almidones nativos, que muestra la variación de módulo de almacenamiento ( $G'$ ), módulo de pérdida ( $G''$ ) con la frecuencia .....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE AMILOSA.....	98
ANEXO 2: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO.....	101
ANEXO 3: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	102
ANEXO 4: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	103
ANEXO 5: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNAS DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	104
ANEXO 6: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	105
ANEXO 7: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	106
ANEXO 8: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS DE LAS VARIETADES DE QUINUA.....	107
ANEXO 9: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	108
ANEXO 10: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	109
ANEXO 11: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN .....	110
ANEXO 12: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	111
ANEXO 13: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	112
ANEXO 14: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	113
ANEXO 15: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZA DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN.....	114
ANEXO 16: ANOVA Y LSD PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR.....	115
ANEXO 17: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE AMILOSA.....	118

ANEXO 18: ANOVA Y LSD PARA EL PODER DE HINCHAMIENTO.....	121
ANEXO 19: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD .....	126
ANEXO 20: ANOVA Y LSD PARA LA CLARIDAD DEL GEL .....	129
ANEXO 21: ANOVA Y LSD PARA LA SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN – CONGELACIÓN.....	136
ANEXO 22: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES TÉRMICAS .....	145
ANEXO 23: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN .....	148

## RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) de la familia *Chenopodiaceae* es nativo de los Andes, y ha sido cultivado en la región andina de América del Sur durante varios miles de años. Este grano andino ha ganado popularidad en todo el mundo, en gran parte, debido al perfil nutricional atractivo. El almidón es el componente principal de este grano y constituye hasta el 70% de la materia seca. En esta investigación se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de almidones extraídos de cinco variedades de quinua: Blanca de Junín, Amarillo Maranganí e INIA-427 Amarillo Sacaca (región Cusco); y Rosada de Huancayo y Blanca de Hualhuas (región Junín), con la finalidad de determinar sus posibles usos en la industria de alimentos. La extracción del almidón se realizó a nivel laboratorio. Los rendimientos de extracción se encontraron entre 27.67–33.78%. Los almidones presentaron bajos contenidos de fibra cruda (0–0.5%), de grasa (0–0.11%), de ceniza (0.11–0.49%) y de proteína (0.90–1.50%). La luminosidad ( $L^*$ ) de los almidones fue alta (98.79%–99.32%), el contenido de amilosa aparente estuvo entre 19.3 a 20.8% y la claridad fue baja (1.83%–2.23%). Los geles formados mostraron un comportamiento no Newtoniano, ajustándose al modelo de Herschel-Bulkley ( $R^2 = 0.97–0.98$ ) y en cuanto a las propiedades de viscoelasticidad, se observó el predominio del carácter elástico sobre el viscoso ( $G' > G''$ ).

**Palabras clave:** Almidón de quinua, amilosa, poder de hinchamiento, sinéresis, reología, gelatinización

## ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) of the Chenopodiaceae family is native to the Andes and has been cultivated in the Andean Region of South America for several thousand years. This andean grain has gained popularity worldwide largely due to the attractive nutritional profile. Starch is the main component of quinoa grain and makes up to 70% of the dry matter. In this study, the physicochemical and functional properties of starches extracted from five varieties of quinoa: Blanca de Junín, Amarillo Maranganí and INIA-427 Amarillo Sacaca (Cusco region), and Rosada de Huancayo and Blanca de Hualhuas (Junín region) were evaluated, with the purpose to determine their possible uses in food industry. Starch extraction was performed at the laboratory scale. The extraction yields were between 27.67–33.78%. The starches showed low crude fiber content (0–0.5%), fat (0–0.11%), and ash (0.11–0.49%); nevertheless, they showed protein (0.90–1.50%). The luminosity ( $L^*$ ) of the starches was high (98.79%–99.32%), the apparent amylose content was between 19.3–20.8%, and the clarity was low (1.83%–2.23%). The gels formed showed a non-Newtonian behavior, conforming to the Herschel-Bulkley model ( $R^2 = 0.97–0.98$ ); and regarding viscoelasticity properties, it was observed the predominance of the elastic behavior over the viscous ( $G' > G''$ ) was observed.

**Keywords:** quinoa starch, amylose, swelling power, syneresis, rheology, gelatinization.

## I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es originario de los Andes de América del Sur, y ha sido cultivada ahí desde hace 3000-4000 años. La FAO en el año 2013, estableció el año internacional de la quinua; en el cual fue catalogada como un producto alternativo importante para contribuir con la seguridad alimentaria mundial (Ahmed *et al.*, 2018).

La quinua está ganando relevancia como alimento funcional y nutracéutico. Además, posee hidratos de carbono de bajo índice glucémico (IG), proteínas de alto valor biológico (al contener 20 aminoácidos, incluidos los diez esenciales), vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina y vitamina E) y minerales (magnesio, potasio, zinc y manganeso) (Abellán *et al.*, 2017). Las semillas de quinua son ricas en almidones, puesto que constituye aproximadamente 53 a 69 por ciento de la materia seca. Los gránulos de almidón generalmente se encuentran en el perispermo de la semilla, y están presentes como unidades simples o como agregados esféricos (Li *et al.*, 2016).

En los últimos años se ha demostrado interés en el almidón de quinua, en donde se ha utilizado para el desarrollo de películas (Pagno *et al.*, 2015) y estabilizante de emulsiones (Rayner *et al.*, 2012). Investigaciones anteriores solo han evaluado un número limitado de muestras de almidones de quinua de otras procedencias como Canadá e India (Jan *et al.*, 2017a; Lindeboom *et al.*, 2005). Sumándole a que el Perú posee una gran diversidad genética (tamaños, colores y sabores) de quinua (Apaza *et al.*, 2013) con escasa información acerca de su caracterización.

Por lo tanto, con esta investigación se pretende generar un mayor conocimiento de las propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de los almidones de las diferentes variedades de quinua peruanas. Además, contribuiría al desarrollo de estos almidones para su potencial empleo en la industria alimentaria, brindando un valor agregado a uno de los alimentos

milenarios del Perú, lo cual puede ser una ventaja competitiva para el país, en términos comerciales, debido a que somos unos principales productores de quinua a nivel mundial (Apaza *et al.*, 2013).

Es por lo que el objetivo general de esta investigación fue extraer almidón de cinco variedades de quinua: Blanca de Junín, Amarillo Maranganí, INIA-427 Amarillo Sacaca, Rosada de Huancayo y Blanca de Hualhuas; así como caracterizarlos fisicoquímica y tecnofuncionalmente.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar fisicoquímicamente almidones obtenidos de cinco variedades de quinua (análisis químico proximal, contenido de amilosa, y evaluación del color).
- Caracterizar tecnofuncionalmente almidones obtenidos de cinco variedades de quinua (poder de hinchamiento, solubilidad, estabilidad en refrigeración y congelación, propiedades térmicas, comportamiento reológico).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es un grano alimenticio originario de los andes peruanos y de la región andina de América del Sur, territorio importante como centro de domesticación de plantas alimenticias, debido a la existencia de microclimas y diferencias altitudinales que dan origen a una diversidad de zonas agroecológicas. Es una planta herbácea de la familia de las *Chenopodiaceas* que alcanza un tamaño de 0.5 a 3.0 m de altura, dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales, y posee un tallo recto o ramificado de color variable. Las semillas son las que contienen la parte del mayor valor alimenticio; son pequeños gránulos con diámetros de entre 1.8 y 2.2 mm, de color variado: blanco, café, amarillo, rosado, gris, rojo y negro (IICA, 2015).

#### 2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Mujica, citado por Chacchi (2009), la quinua esta ubicada dentro de la sección Chenopodia y tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Clase: Dicotiledóneas

Orden: Angiosperma

Familia: Chenopodiáceas

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Subsección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quinoa* Willd

## 2.1.2. COMPOSICIÓN

Los granos desempeñan un papel importante en la dieta humana al satisfacer aproximadamente la mitad de las necesidades de energía y proteínas de un individuo. El trigo, el maíz, el arroz, la cebada, la avena, el centeno y el sorgo son los alimentos más importantes en el mundo en dietas para humanos y animales. Una comparación de los valores nutricionales de estos granos en relación con la quinua se presenta en la Tabla 1. La superioridad de la quinua frente a otros cereales se debe a su mayor contenido en proteínas, lípidos y cenizas (Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

**Tabla 1: Comparación de los valores nutricionales de granos y quinua (100 g porción comestible)**

Composición	Quinua	Arroz	Cebada	Trigo	Maíz	Centeno	Sorgo
Lípidos (g)	8.07	0.55	1.3	2.47	4.74	1.63	3.46
Proteína (g)	14.12	6.81	9.91	13.68	9.42	10.34	10.62
Ceniza (g)	2.7	0.19	0,62	1.13	0.67	0.98	0.84
Fibra (g)	7.0	2.8	15.6	10.7	7.3	15.1	6.7
Carbohidratos (g)	64.16	81.68	77.72	71.13	74.26	75.86	72.09
Energía (kcal)	368	370	352	339	365	338	329

FUENTE: Navruz-Varli y Sanlier (2016)

### a. CARBOHIDRATOS Y FIBRA

Los carbohidratos son los principales constituyentes de los cereales y granos andinos y el principal carbohidrato es el almidón. El almidón está formado por dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa y amilopectina son las responsables de las propiedades físicas de los diferentes almidones (IICA, 2015).

La quinua contiene azúcar en un 3%. En su mayoría contiene maltosa, D-galactosa y D-ribosa, además de bajos niveles de fructosa y glucosa (Abugoch y James, 2009, citados por Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

La fibra dietética total en la quinua (7.0-11.7 g/100 g de materia comestible) es similar a la de los cereales, como el trigo, mientras que el contenido de fibra soluble oscila entre 1.3-6.1 g/100 g de materia comestible(Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017).

## b. PROTEÍNA

La quinua tiene un alto contenido de proteína en comparación con la mayoría de los cereales, pero es más baja en proteínas que las semillas oleaginosas y leguminosas (Mazza *et al.*, 1992, citados por Lindeboom, 2005). Sin embargo, tiene una alta calidad proteica pues contiene los diez aminoácidos que son estrictamente esenciales (Tabla 2) dotándola de un valor proteico similar a la caseína (Repo-Carrasco *et al.*, 2003, citados por Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

**Tabla 2: Perfil de aminoácidos esenciales (100 g/g proteína)**

Aminoácidos	Referencias				
	Koziol	Dini <i>et al.</i>	Repo-Carrasco <i>et al.</i>	Wright <i>et al.</i>	González <i>et al.</i>
<b>His</b>	3.2	2.0	2.7	3.1.	ND
<b>Ile</b>	4.4	7.4	3.4	3.3	ND
<b>Leu</b>	6.6	7.5	6.1	5.8	ND
<b>Met + Cys</b>	4.8	4.5	4.8	2.0 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>
<b>Phe + Tyr</b>	7.3	7.5	6.2	6.2	ND
<b>Thr</b>	3.8	3.5	3.4	2.5	ND
<b>Val</b>	4.5	6.0	4.2	4.0	ND
<b>Lys</b>	6.1	4.6	5.6	6.1	6.6
<b>Trp</b>	1.2	ND	1.1	ND	1.1

ND: no detectado

<sup>a</sup> Solo se reporta metionina

FUENTE: Vega-Gálvez *et al.* (2010)

### **c. MINERALES**

La quinua tiene un alto contenido de calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc (Koziol, 1992, citado por Vega-Gálvez *et al.*, 2010). Muchos minerales en la quinua se encuentran en concentraciones mayores que los reportados para la mayoría de los cultivos de cereales. Siempre que se encuentran en su forma biodisponible, el calcio, el magnesio y el potasio se encuentran en cantidades suficientes para una dieta humana equilibrada (Schlick y Bubenheim, 1996 citados por Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

### **d. LÍPIDOS**

Se ha estimado que el contenido de lípidos de la quinua está en el rango de 4.4-8.8%, el cual está por encima del nivel promedio de los cereales (Zhu, 2015). Los lípidos en la quinua se componen de 55.6% de lípidos neutros, 25.4% de lípidos polares y 18.9% de ácidos grasos totales (Przybylski *et al.*, 1994, citados por Li y Zhu, 2016).

El ácido palmítico se encuentra en la quinua como un ácido graso saturado básico y constituye el 10% de su total de ácidos grasos. De entre los ácidos grasos insaturados, los ácidos grasos oleico (19.7-29.5%), linoleico (49.0-56.4%) y alfa-linolénico (8.7-11.7%) constituyen 87.2-87.8% de sus ácidos grasos totales (Repo-Carrasco *et al.*, 2003, citado por Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

### **2.1.3. VARIEDADES DE QUINUA EN EL PERÚ**

Según Chacchi (2009) existen alrededor de dieciocho variedades de quinua en el Perú. Sin embargo, en el 2013 se desarrolló el catálogo de variedades comerciales de quinua del Perú, el que fue elaborado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el marco del proyecto “Semillas Andinas”, para brindar información técnica y científica a investigadores, productores y público en general sobre las principales variedades comerciales cultivadas en las diferentes zonas de producción del país (Apaza *et al.*, 2013). En la Tabla 3 se muestran algunas de estas variedades comerciales de quinua.

**Tabla 3: Variedades comerciales de quinua en el Perú y sus características**

Nombre de la variedad	Efusión de saponina	Color de pericarpio	Color de episperma	Tamaño de grano	Zonas de producción
INIA 431 Altiplano	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano, Costa
INIA 427 Amarilla Sacaca	Mucha	Amarillo	Blanco	Grande	Valles Interandinos
INIA 420 Negra Collana	Nada	Gris	Negro	Pequeño	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
INIA 415 – Pasankalla	Nada	Gris	Rojo	Mediano	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Illpa INIA	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano
Salcedo INIA	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano, Valles Interandinos, Costa
Quillahuaman INIA	Regular	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos
Ayacuchana INIA Amarilla	Regular	Crema	Blanco	Pequeño	Valles Interandinos
Maranganí	Mucha	Anaranjado	Blanco	Grande	Valles Interandinos
Blanca de Juli	Poca	Crema	Blanco	Pequeño	Altiplano
Blanca de Junín	Regular	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Huacariz	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Hualhuas	Nada	Crema	Blanco	Mediano	Valles Interandinos, Costa
Huancayo	Regular	Crema	Crema	Mediano	Valles Interandinos
Kankolla	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Altiplano

FUENTE: Apaza *et al.* (2013)

El aumento de variedades comerciales de quinua en el país se debe a las mejoras genéticas realizadas. Las variedades mejoradas de quinua obtenidas por el INIA, mediante el Programa

Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos son: Salcedo INIA, Illpa INIA, INIA 415-Pasankalla, INIA 420-Negra Collana, INIA 427-Amarilla Sacaca e INIA 431-Altiplano.

A estas variedades se suman Blanca de Junín, Amarilla Maranganí, Blanca de Juli, Kankolla, Hualhuas, Rosada de Junín, Huacariz, Ayacuchana INIA, Mantaro, Rosada de Yanamango, Cheweca y Rosada Taraco, variedades generadas por Universidades (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Universidad Nacional del Centro del Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Nacional del Altiplano), ampliamente utilizadas por los agricultores y con alta demanda en el mercado local, nacional e internacional (Apaza *et al.*, 2013). En la Tabla 4 se puede observar la composición proximal de algunas de las diferentes variedades de quinua.

La amplia variabilidad genética de la quinua le permite adaptarse a diversos ambientes ecológicos (valles interandinos, altiplano, yungas, salares, nivel del mar) con diferentes condiciones de humedad relativa, altitud (desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altura) y es capaz de hacer frente a cambios de temperatura que oscilan entre -8 y 38 °C. En el Perú hay más de 3000 ecotipos, tanto cultivadas como silvestres, que se resumen en cinco categorías básicas según el gradiente altitudinal: ecotipos del nivel del mar, del altiplano, de los valles interandinos, de los salares y de los Yungas. El INIA conserva el material genético de alrededor de 2000 ecotipos (FAO, 2011, citado por Geraldino, 2018). Asimismo, en la Figura 1 se muestra imágenes de la panoja, tallo y semilla de algunas variedades de quinua.

#### **a. BLANCA DE JUNÍN**

Es una variedad propia de la región central del Perú. Se cultiva intensamente en la zona del valle del Mantaro, aunque también ha sido introducida con éxito en otras regiones. Tapia, citado por Rosas (2015) menciona que esta variedad presenta dos tipos: Blanca y Rosada, que fueron mejorados en la Estación Experimental del Mantaro. El INIA indica que esta variedad es poco tolerante al mildiú, siendo su periodo vegetativo largo (180 días), con granos blancos, medianos, de bajo contenido de saponina. La panoja es de forma glomerulada, pudiendo la planta alcanzar una altura de 170 cm. Sus rendimientos varían mucho según el nivel de fertilización, pudiendo obtenerse hasta 2500 kg/ha, con niveles de 80-40-0 de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O (Rosas, 2015)

**Tabla 4: Composición proximal de variedades de quinua.**

Muestra/ análisis	Humedad g/100 g	Proteína g/100 g	Grasa g/100 g	Cenizas g/100 g	Fibra dietética g/100 g	Carbohidratos g/100 g	Energía Kcal/100 g
Quillahuaman INIA	10.70	12.96	6.31	3.10	4.19	65.84	376.00
Huancayo	10.90	11.89	6.20	2.61	3.82	64.58	377.00
Blanca de Junín	10.90	13.50	7.11	2.90	5.28	60.31	380.00
Amarillo Maranganí	10.80	11.24	6.20	3.14	5.98	62.64	375.00
Salcedo INIA	10.60	12.36	5.80	2.93	3.55	64.76	375.00
INIA 433 Santa Ana	10.60	11.68	7.20	3.05	4.40	63.07	382.00
Hualhuas	10.90	12.20	7.60	2.79	3.00	63.51	383.00
INIA 415 Pasankalla	10.40	16.81	6.16	3.10	5.86	57.67	377.00
INIA 427 Amarilla Sacaca	11.30	11.28	6.09	2.92	4.78	63.63	374.00
INIA 431 Altilpano	11.30	16.07	6.00	3.48	5.11	58.04	371.00
INIA 420 Negra Collana	11.50	13.99	6.00	2.57	10.27	55.67	365.00
INIA 4313 Altiplano	10.70	13.98	6.90	2.59	5.03	60.80	381.00

FUENTE: IICA (2015).



**Figura 1: Panoja, tallo y semilla de algunas variedades de quinua: Junín (1), Hualhuas (2), rosada (3), Marangani (4) y Sacaca (5).**

FUENTE: Apaza *et al.* (2013).

**b. AMARILLA DE MARANGANÍ**

Originaria de Maranganí (Cusco), es una planta erecta poco ramificada, de 180 cm de altura, con abundante follaje, de tallo grueso, planta de color verde oscuro característico. A la madurez la planta, es completamente anaranjada, con un periodo vegetativo tardío de 160-180 días, tiene panoja glomerulada, grano grande de color anaranjado (2.5 mm), con alto contenido de saponina, es resistente al mildiú (*Peronospora farinosa*), de alto potencial de rendimiento que supera los 6000 kg/ha, susceptible al ataque de Q'hona-q'hona y a las heladas (Chacchi, 2009)

**c. AMARILLA SACACA**

Rosas (2015) indica que esta variedad fue colectada en la comunidad de Sacaca, distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco. Tiene una adaptación óptima en valles interandinos, entre los 2750 y 3650 m. de altitud. Posee un periodo vegetativo de 160 a 170 días, con una altura de planta de 170 cm. y un rendimiento promedio de grano de 3500 kg/ha. La panoja es de forma amarantiforme, teniendo una coloración anaranjada en la madurez. El grano es de buen tamaño, de color anaranjado, con alto contenido de saponina y presenta tolerancia al mildiú (Rosas, 2015).

**d. HUANCAYO**

Colachagua (2015) indica que esta variedad fue liberada en la región Junín por el programa de cultivos andinos de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

**e. BLANCA DE HUALHUAS**

Es una variedad obtenida por la UNCP, en un proceso de selección de segregantes de un ecotipo local, en el año 1974. La variedad presenta una planta robusta, de ciclo vegetativo de 170 días. El tallo, las hojas y la panoja, de forma amarantiforme, es de color verde durante su ciclo vegetativo y cuando maduran se tornan de color blanco cera. Las axilas de las plantas son de color púrpura, que se encuentra en la inserción del tallo y la hoja. La altura de planta

que alcanza es de 160 cm., el rendimiento de la variedad es de 3200 kg/ha y es susceptible al mildiú (INIA, 2013, citado por Rosas, 2015).

#### **2.1.4. USOS**

En Chile, Ecuador, Perú y Bolivia, los principales usos de las semillas enteras de quinua son en sopas, ensaladas, guisos y estofados. Los granos cocidos se hinchan a aproximadamente dos o tres veces su tamaño original. La quinua se puede comer como un reemplazo de arroz o como un cereal de desayuno. Los granos pueden incluso ser popeados como palomitas de maíz (Valencia-Chamorro, 2016).

Tradicionalmente los granos de quinua se tuestan y con ellos se produce harina. También pueden ser cocidos, añadidos a las sopas, usados como cereales, pastas e inclusive se le fermenta para obtener cerveza o "chicha" la cual es considerada la bebida de los Incas. Cuando se cuece toma un sabor similar a la nuez (Arroyave y Esguerra, 2006).

La harina de quinua se puede mezclar con harina de maíz o trigo para hacer pan y pasta, y se utiliza para hacer galletas, pasteles y pasteles en general. Se han informado varios niveles de sustitución de la harina de quinua, por ejemplo, en pan (10-13% de harina de quinua), fideos y pasta (30-40% de harina de quinua) y galletas dulces (60% de harina de quinua). La harina de quinua también puede secarse en tambor y extruirse, produciendo productos con buenas cualidades físicas, sensoriales y nutricionales (Valencia-Chamorro, 2016).

Las hojas de quinua, al igual que los granos, también se pueden cocinar, se prepara de manera similar a la espinaca o se pueden servir crudas en una ensalada. Los granos, los tallos y las hojas se han usado por sus propiedades medicinales: cicatrización, antiinflamatorio, analgésico y desinfectante. El colorante natural de la quinua (betalaínas) se usó tradicionalmente para el teñido de telas y la preparación de alimentos (Valencia-Chamorro, 2016).

Las saponinas de la quinua, debido a sus cualidades químicas, tienen múltiples propósitos. Se utilizan en la fabricación de jabón, detergentes líquidos, champús, pasta de dientes, quitamanchas (Valencia-Chamorro, 2016).

## 2.2. ALMIDÓN DE QUINUA

El almidón es importante para las industrias de alimentos por las propiedades físico-químicas y funcionales que presenta siendo empleado como agente espesante, ligante y estabilizante de geles y emulsiones (Cereda, 2001 y Gonçalves, 2012, citados por Díaz, 2016). En la harina de quinua el almidón representa el 48-69% de la materia seca (Wang y Zhu, 2015, citados por Li y Zhu 2016) y se ubica en el perisperma, a diferencia de los cereales que lo almacenan en el endospermo. (Kirk *et al.*, 1996, citados por Yana, 2015).

### 2.2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

El almidón de quinua aislado contiene componentes menores tales como proteínas, lípidos, cenizas y fibra, tal como se muestra en la Tabla 5. La mayoría de los estudios informaron que los valores de los componentes menores eran inferiores al 0.5%. Los altos contenidos de componentes menores sugieren una purificación insuficiente del almidón. Debe tenerse en cuenta que estos componentes menores, aunque pequeños en cantidad, pueden tener efectos sobre las propiedades funcionales del almidón (Srichuwong y Jane, 2007, citados por Li y Zhu, 2018).

**Tabla 5: Composición química del almidón de quinua**

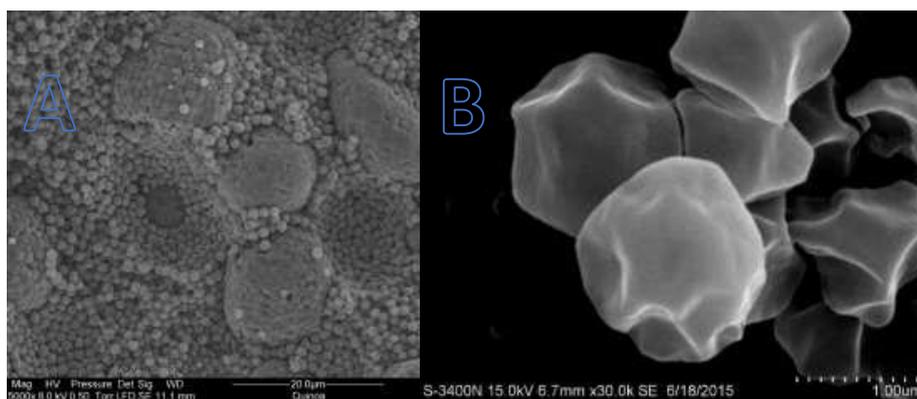
Número de muestras estudiadas	Proteína (%)	Ceniza (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Referencia
1	0.11	0.04	-	-	Atwell <i>et al.</i> (1983)
2	0.89–0.95	0.18–0.22	0.32–0.40	0.10–0.13	Jan <i>et al.</i> (2017)
1	0.91		0.11		Lorenz (1990)
3	1.09–4.13	1.46–1.64	1.94–2.56	0.19–0.24	Steffolani <i>et al.</i> (2013)
8	0.14–1.23				Lindeboom <i>et al.</i> (2005)

FUENTE: Li y Zhu (2018)

## 2.2.2. MORFOLOGÍA

Varias técnicas como el microscopio óptico, el microscopio electrónico de barrido, el microscopio electrónico de transmisión y la difracción de luz láser se han empleado para estudiar la morfología de gránulos de almidón de quinua (Li y Zhu, 2018). El tamaño del gránulo de quinua se encuentra mayormente en el rango de 0.4-2.0  $\mu\text{m}$ , el cual es más pequeño que el de la mayoría de los almidones de otros orígenes botánicos. La forma del almidón de quinua es poligonal, angular e irregular (Li y Zhu, 2018).

El almidón de quinua puede presentarse como agregaciones. Estos agregados de forma esférica u oblonga tienen un tamaño de entre 10 y 30  $\mu\text{m}$  con 14000-20000 gránulos de almidón individuales (Figura 2).



**Figura 2: Fotos en el microscopio electrónico de barrido (MEB) que muestran agregados en una muestra de Perú con una ampliación 5000X (A) y gránulos de almidón de una muestra de América del Sur con una ampliación 30000X (B)**

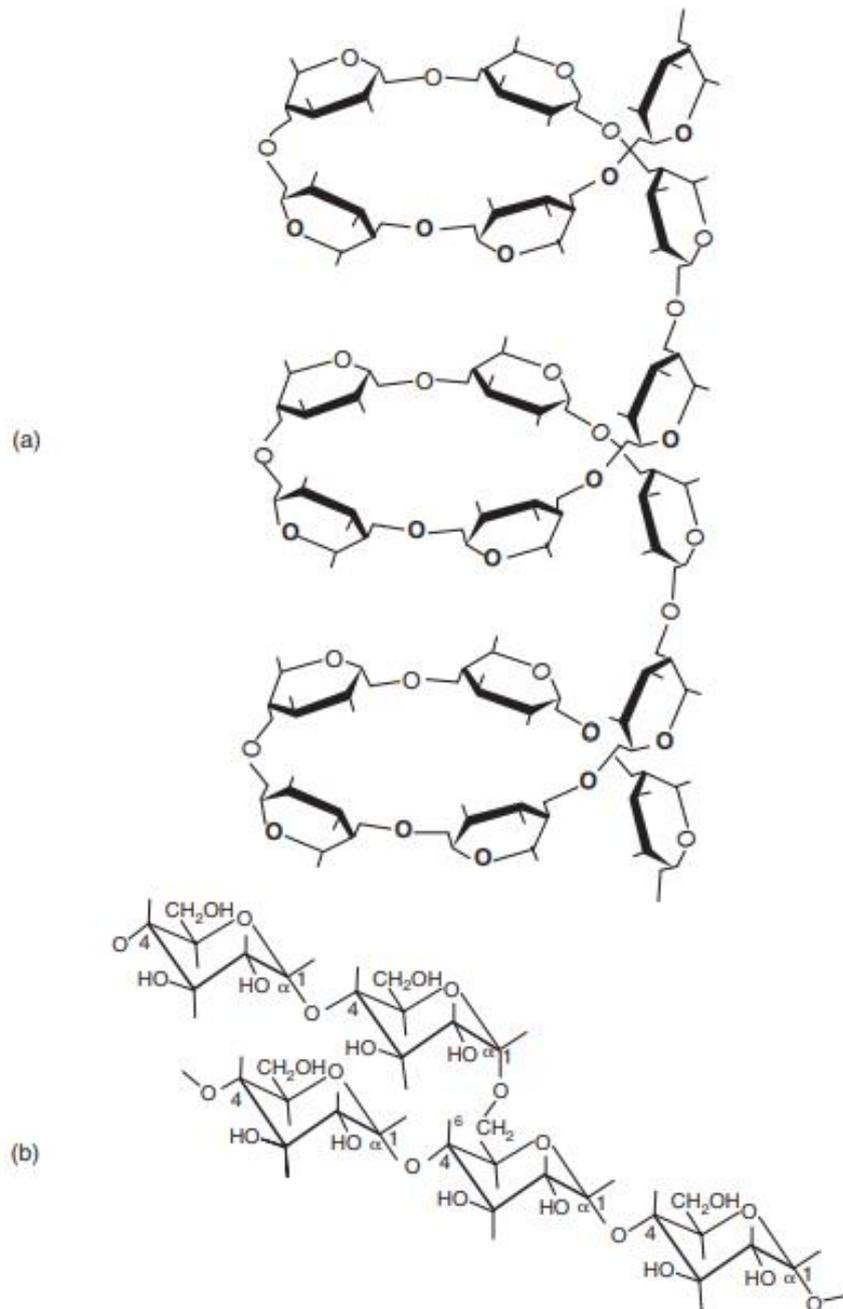
FUENTE: Li y Zhu (2018)

## 2.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

### 2.3.1. AMILOSA Y AMILOPECTINA

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces

glucosídicos  $\alpha$  (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal (Figura 3), en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2006).



**Figura 3: (a) Enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina**

FUENTE:Badui (2006).

Por otro lado, la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (Figura 3). Su peso molecular es muy alto, pues algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300,000 y 500,000 (Badui, 2006). En la Tabla 6 se resumen las más importantes propiedades fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina.

La amilopectina está presente en todos los almidones comunes, y constituye aproximadamente el 75% (en peso) de estos almidones. Algunos almidones constan totalmente de amilopectina y se denominan almidones de amilopectina o céreos (Fennema *et al.*, 2017).

El yodo reacciona con la amilosa y genera un fuerte color azul característico debido al complejo que se establece entre una molécula de éste con cada 7-8 glucosas; para desarrollar adecuadamente la coloración se requiere un mínimo de 40 residuos de monosacárido, las cadenas muy cortas de amilosa, en lugar de azul producen un color rojo. Aparentemente el complejo amilosa-yodo se establece por la inclusión del yodo en la hélice, mecanismo semejante al que se observa en los monoglicéridos que se usan en la elaboración del pan. Por otra parte, la amilopectina sólo forma complejos con una pequeña cantidad de yodo y desarrolla una coloración roja (Badui, 2006).

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso (Badui, 2006).

Por otro lado, Atwell *et al.*, 1983, citados por Díaz, 2016) mencionaron que, en uno de los estudios sobre almidón de quinua, éste presentó un bajo contenido de amilosa (11%) en comparación con el almidón de la mayoría de los cereales. Sin embargo, en el estudio de Lindeboom *et al.* (2005) evaluando almidón de diferentes genotipos de quinoa, se observó

que los niveles de amilosa variaron de 3.5 a 19.6%, lo que afecta a las propiedades del mismo. En la Tabla 7 se muestra un breve resumen de los resultados de algunas investigaciones acerca del almidón de quinua y su contenido de amilosa en comparación con otros cereales.

**Tabla 6: Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina**

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular/ ramificaciones	Principalmente lineal/principalmente $\alpha$ -1-4	Altamente ramificada $\alpha$ -1- 4; $\alpha$ -1-6
Peso molecular	105-106 Da	107-109 Da
Yodo unión/ color	20%/azul-negro	<1 %rojo-púrpura
Digestibilidad por $\beta$ - amilasa	100%	Aprox. 60%
Dilatación en soluciones acuosas	Inestable	Estable
Solubilidad	Baja/apenas soluble	Alta
Temperatura de gelatinización	Baja	Alta
Complejo amilosa-lípido	Cantidad muy alta	No
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Films	Coherente	No forma fácilmente
Viscosidad	Baja	Alta
Espesante	Pobre	Bueno
Estabilidad al cizallamiento	Relativamente estable	Inestable
Fuerzas adhesivas	Débil	Fuerte
Estabilidad de congelación- descongelación	Inestable	Estable
Tasa de retrogradación	Alta	Baja

FUENTE: Schirmer *et al.*, 2015, citados por Peña (2017)

**Tabla 7: Contenido de amilosa en almidones de quinua, arroz y cebada (base seca)**

	Quinua	Arroz	Cebada
Amilosa (%)	3.5 - 22.5	7.4 - 29.8	1- 45
Amilopectina (%)	77.5	61	-
Referencias	Tang <i>et al.</i> (2002), Qian y Kuhn (1999), Tari <i>et al.</i> (2003) Lindeboom (2005)	Tukomane y Varavinit (2008)	Morrison <i>et al.</i> (1986).

FUENTE: Abugoch (2009)

## 2.4. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

La importancia de estas características radica en elucidar la posible aplicación tecnológica que pueda otorgarse a los almidones, así como el comportamiento de los mismos al ser incorporados en algún producto (Ríos, 2014).

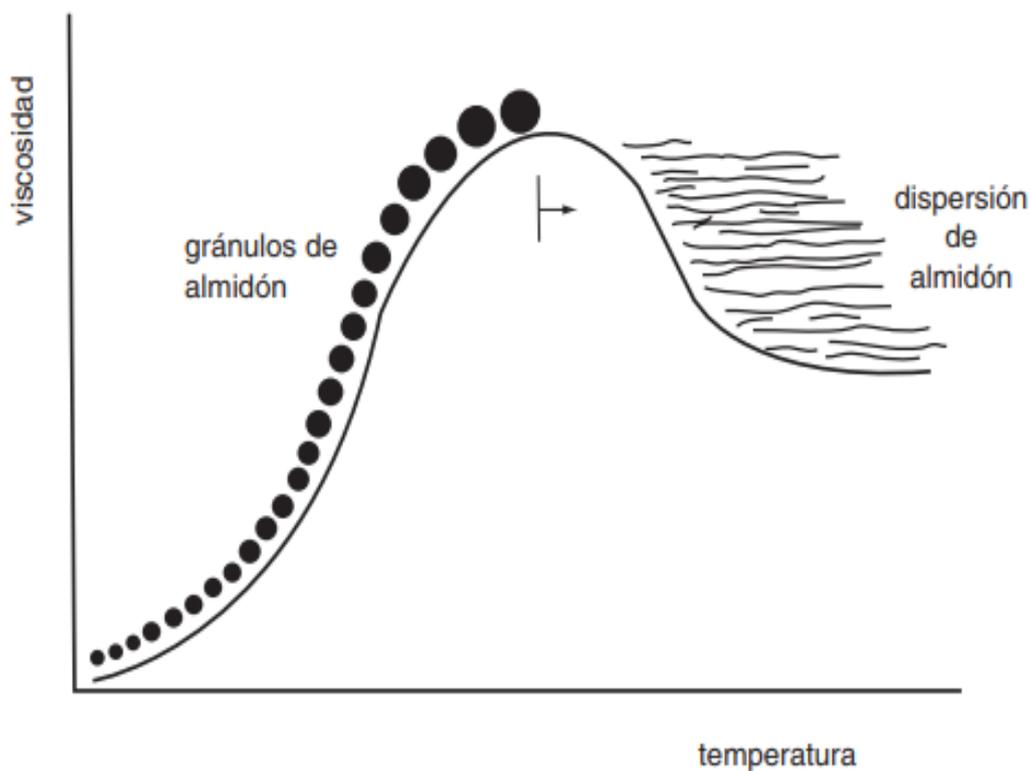
### 2.4.1. GELATINIZACIÓN

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y porque presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes. Sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, pues los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas (Badui, 2006).

La gelatinización es la interrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos, ocurre una ruptura de los enlaces de hidrógeno que estabilizan las cadenas de almidón dentro de los gránulos. Las evidencias de la pérdida de este orden molecular son: el hinchamiento irreversible del gránulo, la pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad.

Durante la gelatinización se produce parte de la lixiviación de la amilosa. La gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, debido a la heterogeneidad estructural de los gránulos. La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico, es por ello que es muy utilizada la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), que mide tanto la temperatura como la entalpía de gelatinización (Fennema *et al.*, 2017).

Para visualizar mejor el fenómeno de gelatinización, la Figura 4 muestra esquemáticamente el aumento de volumen de los gránulos contra el aumento de la viscosidad de la dispersión acuosa. Una vez que los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta alcanzar un valor estable, en el que se genera un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes según el almidón de que se trate (Badui, 2006).



**Figura 4: Gelatinización del almidón**

FUENTE: Badui (2006).

#### **2.4.2. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD**

Cuando los gránulos de almidón no cocidos ni dañados se colocan en agua fría, absorben agua y se hinchan. Sin embargo, la cantidad de agua absorbida y el hinchamiento son limitados. El pequeño aumento de volumen que tiene lugar en el agua a temperatura ambiente es una verdadera hinchazón y es reversible. (Charley, 1997 citados por Vento y Parian, 2014). Al calentar la suspensión de almidón se llega a una primera etapa donde el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por dos fases: una fase continua y rica en amilosa, y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina. Al incrementarse la temperatura, el hinchamiento aumenta hasta que es irreversible (García *et al.*, 2013).

Durante el proceso de gelatinización del almidón, el grado de hinchamiento de los gránulos y la liberación de material soluble generalmente se controlan mediante pruebas de hinchamiento y solubilidad. Los almidones se calientan a diversas temperaturas. Los materiales solubilizados y no disueltos se separan y se pesan, a partir de los cuales se puede calcular el poder de hinchamiento, el índice de solubilidad en agua y el factor de hinchamiento (Li y Zhu, 2018)

La solubilidad del almidón se da a consecuencia del hinchamiento del gránulo y del incremento de la temperatura. Tanto el poder de hinchamiento como el índice de solubilidad indican el grado de asociación existente (enlaces intragranulares) entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) (Araujo, 2004, citado por Lescano, 2010). El incremento en la solubilidad se atribuye al contenido de amilosa, debido a que estas moléculas se solubilizan y salen al exterior del gránulo de almidón hinchado (Bou *et al.*, 2006).

#### **2.4.3. CLARIDAD**

La claridad indica el grado de transparencia de las pastas y está directamente relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. La capacidad de estas pastas para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante mide su claridad. (Craig *et al.*, 1989, citados por Arzapalo y Huaman, 2014). Es por ello que la transmitancia se usa para indicar la claridad de la pasta de almidón

(Jan, Panesar, Rana, *et al.*, 2017). Una transmitancia de luz más alta implica un gel más transparente, que es función de la cantidad de gránulos hinchados del almidón en el gel, que refractan la luz (Singh *et al.*, 2006 citados por Peña, 2017).

La transparencia u opacidad presentada por las pastas de almidón influyen directamente sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como espesantes (Betancur-Ancona *et al.*, 2001, citados por Hernández-Medina, 2008). Los almidones que presentaron valores elevados de transmitancia, tales como el de yuca e incluso el de camote podrían ser utilizados en alimentos como mermeladas, gelatinas, y en confitería para la elaboración de gomitas, etc. Mientras que los más opacos, como los de makal y sagú, pueden ser utilizados en alimentos poco transparentes, como las mayonesas, los productos cárnicos, las bebidas concentradas tipo néctar o los productos de panificación (Hernández-Medina *et al.*, 2008).

#### **2.4.4. RETROGRADACIÓN**

La retrogradación, considerada como cristalización o recristalización, es un proceso dependiente del tiempo que ocurre una vez que el sistema de almidón gelatinizado se enfría, en este proceso se producen cambios físicos debido al ordenamiento de sus moléculas o parte de ellas en nuevas estructuras de doble hélice o cristalinas (Carmen Quiroga, 2018). Además, durante un período de almacenamiento prolongado, las moléculas de almidón amorfo en el medio acuoso pierden la capacidad de unión al agua. Esta transición que se conoce como retrogradación del almidón, se observa comúnmente en el añejamiento del pan y en la sinéresis de sopas y salsas con almidón como espesante. La retrogradación del almidón se mejora aumentando la concentración de almidón en la pasta, aumentando el contenido de amilosa, aumentando la longitud de la cadena ramificada de amilopectina y almacenando la pasta de almidón a 0-5 °C (Ai y Jane, 2018).

Los polímeros de almidón solubilizados y algunos fragmentos granulares insolubles tienen la tendencia a reasociarse después del calentamiento. Esta reasociación es referida como retrogradación, la cual ocurre cuando las cadenas de amilosa comienzan a reasociarse en una estructura ordenada. En esta fase inicial, dos o más cadenas de amilosa pueden formar un simple punto de unión el cual puede desarrollarse posteriormente en regiones más

extensivamente ordenadas. Finalmente, bajo condiciones favorables, aparece un orden cristalino (L. Martínez, 2007).

#### **2.4.5. SINÉRESIS Y ESTABILIDAD EN CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN**

Un fenómeno comúnmente observado en los geles de almidón durante el almacenamiento en frío es la liberación de agua, que se debe principalmente a la asociación de las moléculas de amilosa y amilopectina. La sinéresis, que es la separación espontánea del agua, podría ser un aspecto importante a considerar en la formulación de los productos refrigerados, como la crema pastelera (Shaikh *et al.*, 2017).

Cuando una pasta de almidón se somete a ciclos sucesivos de congelación y descongelación, la estructura del sistema cambia. Ello es el resultado de la redistribución y dilución de la pasta de almidón, por el crecimiento y la disolución de los cristales de hielo. El agua retenida por la amilopectina es expelida de las asociaciones inter e intramoleculares. Esto da como resultado una separación de fases: una rica en almidón (pasta) y la otra deficiente en él (parte líquida) (Barrera *et al.*, 2003, citado por Plaza, 2017).

Es importante evaluar el porcentaje de sinéresis en refrigeración y congelación porque refleja la pérdida de agua durante el almacenamiento, la cual afecta las características de los productos y su vida útil (Zárate-Polanco *et al.*, 2016). Por otro lado, Kumar *et al.* (2018) indican que la estabilidad de congelación-descongelación es una característica clave del almidón que se utiliza para determinar la resistencia estructural o la resistencia de la textura a los golpes de temperatura indeseables que se producen durante la congelación y la descongelación.

#### **2.4.6. REOLOGÍA**

La reología está establecida como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, es el estudio de la manera en que los materiales responden a un esfuerzo o deformación aplicada (Ojeda, 2008; Rao, M, 2013).

Según Mckenna y Lyng (2013) señalan que la reología en los alimentos es el estudio de la deformación y el flujo de alimentos bajo condiciones bien definidas. Hay muchas áreas donde los datos reológicos son requeridos por la industria alimentaria, incluyendo:

- Diseño de la planta: bombas y dimensionamiento y selección de tuberías, cálculos de transferencia de calor y masa, cálculos de ingeniería de procesos que involucran extrusoras, mezcladoras y homogeneizadoras
- Control de calidad: tanto de la materia prima como del producto en diferentes etapas del proceso (incluida la determinación de la funcionalidad de los ingredientes en el desarrollo del producto y también las pruebas de vida útil)
- Evaluación de los atributos sensoriales: medición cuantitativa de los atributos de calidad determinados por el consumidor mediante la correlación de las mediciones de la reología con los datos sensoriales
- Evaluación de la estructura de los alimentos y conformación de los constituyentes moleculares.

#### **a. CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS**

De acuerdo al comportamiento reológico de los fluidos, éstos pueden clasificarse de la siguiente forma según Muller, citado por Ojeda (2008):

- Fluidos Newtonianos
- Fluidos No newtonianos
  - Flujo Independiente del tiempo: pseudoplástico, dilatante, plástico de Bingham
  - Flujo dependiente del tiempo: tixotrópico, reopéctico, viscoelásticos

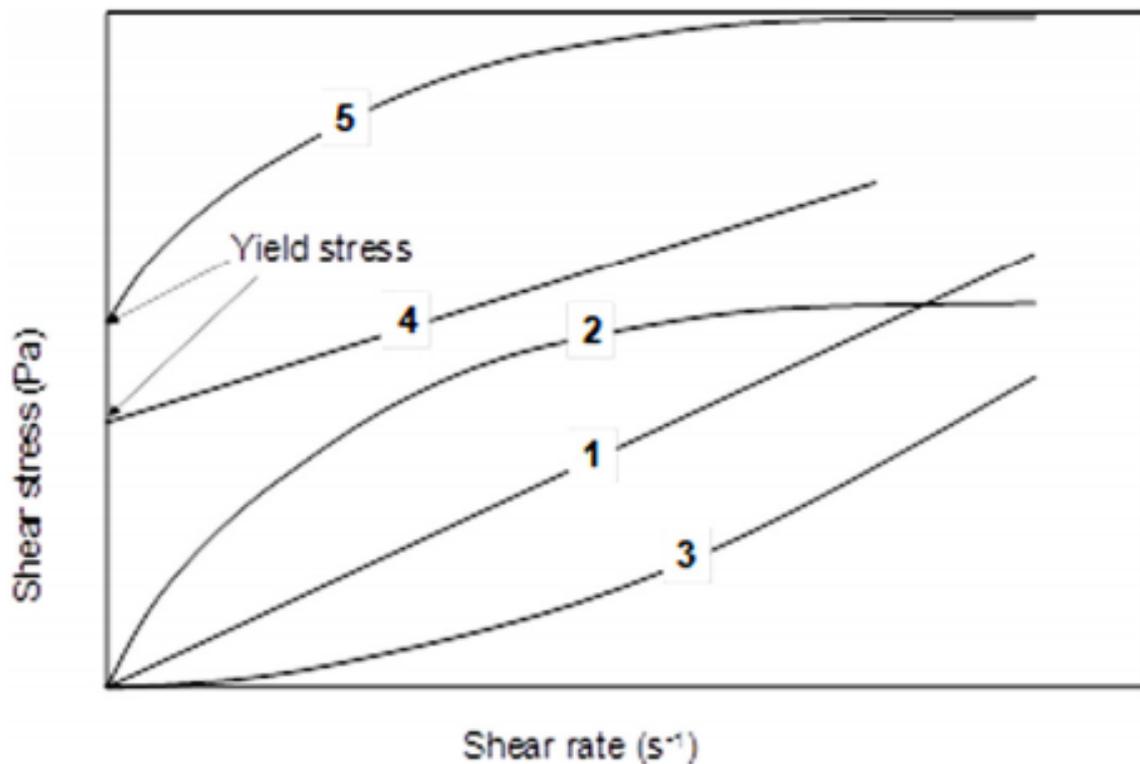
Flores (2006) menciona que de manera general se observan dos tipos de comportamiento reológico bien distintos: los fluidos Newtonianos, donde la viscosidad es constante e independiente de la tasa de corte aplicada al fluido, y los fluidos no newtonianos, donde la viscosidad depende de la tasa de corte. Los fluidos no Newtonianos son subdivididos en tres tipos: fluidos pseudoplástico (la viscosidad disminuye a medida que se incrementa la velocidad de corte, plástico de Bingham (presenta un flujo pseudoplástico combinado con

un valor de fluencia) y fluido dilatante (donde la viscosidad aumenta con el aumento en la velocidad de corte). La mayoría de los materiales industriales son no newtonianos.

Las curvas típicas para el esfuerzo de corte vs velocidad de corte (llamadas reogramas) se ilustran en la Figura 5. Para establecer una correlación entre el esfuerzo de corte y velocidad de corte, los reólogos generaron varios modelos para describir los fluidos newtonianos y no newtonianos. Para los productos alimenticios, el modelo Herschel-Bulkley (ecuación 1) es de importancia práctica porque incorpora un umbral de fluencia ( $\sigma_0$ ). Los fluidos se clasifican en diferentes tipos de acuerdo con la magnitud de  $\sigma_0$ ,  $k$  y  $\eta$  (Zhong y Daubert, 2013).

$$(1) \quad \sigma = \sigma_0 + k \gamma^n$$

Donde  $k$  es el coeficiente de consistencia y  $\eta$  es el índice del comportamiento de flujo



**Figura 5: Reograma de diferentes fluidos: 1) Newtoniano; 2) Pseudoplástico, 3) Dilatante, 4) Plástico de Bingham y 5) Herschel-Bulkley.**

FUENTE: Zhong y Daubert (2013).

La Tabla 8 muestra algunos ejemplos de flujos de alimentos según la clasificación reológica y sus constantes fundamentales.

**Tabla 8: Constantes fundamentales para distintos tipos de flujos de alimentos**

Tipo de flujo	Índice de consistencia	Índice de comportamiento al flujo	Umbral de fluencia	Ejemplos
Newtoniano	Viscosidad $K > 0$	$\eta = 1$	$\sigma_0 = 0$	Agua, jugos clarificados de fruta, leche, miel, aceite vegetal, jarabes de pastelería.
Pseudoplástico	Viscosidad aparente $K > 0$	$0 < \eta < 1$	$\sigma_0 = 0$	Compota de manzana, puré de plátano, jugo concentrados.
Plástico de Bingham	Plasticidad constante $k > 0$	$\eta = 1$	$\sigma_0 > 0$	Pasta de tomates, aderezos de ensaladas, salsa de dulce de chocolate.
Tipo mixto	Índice de consistencia $K > 0$	$0 < \eta < 1$	$\sigma_0 > 0$	Mermelada, jalea.
Dilatante	Índice de consistencia $K > 0$	$1 < \eta < \infty$	$\sigma_0 = 0$	Mantequilla de maní, pasta de salchichas, algunos tipos de miel, soluciones concentradas de almidón de maíz (>40%).

FUENTE: Ojeda (2008).

## **b. VISCOELASTICIDAD**

Gibson *et al.* (2018) definen a la elasticidad como la tendencia de los materiales a volver a su forma original después de retirar cualquier fuerza de deformación; mientras que la viscosidad es una propiedad interna de un fluido que ofrece resistencia al flujo.

La viscoelasticidad es otra propiedad reológica de las sustancias alimenticias en la que ciertas soluciones, suspensiones, coloides, etc. presentan características tanto viscosas como elásticas (Barnes *et al.*, 1989, citado por Gibson y Newsham, 2018). El conocimiento de las propiedades viscoelásticas es muy útil en el diseño y predicción de la estabilidad de muestras almacenadas (Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005).

Según Álvarez (2014), el comportamiento viscoelástico podría dividirse en dos grupos generales:

- Viscoelasticidad lineal, en la cual las propiedades reológicas dependen únicamente del tiempo y no de la magnitud o tasa de aplicación de un esfuerzo. La mayoría de los alimentos muestran viscoelasticidad lineal por encima de ligeras deformaciones de un pequeño porcentaje.
- Viscoelasticidad no lineal, donde las propiedades mecánicas están en función del tiempo del esfuerzo aplicado, la magnitud del esfuerzo y en ocasiones la velocidad a la cual se aplica el esfuerzo. El estudio de la viscoelasticidad no lineal es experimental y teóricamente más complicado que la viscoelasticidad lineal, estando aún en el rango en el cual muchos alimentos son comprimidos o cizallados en la boca

Generalmente, la viscoelasticidad presentada en los alimentos es no lineal y de difícil caracterización, y deben definirse por lo tanto las condiciones experimentales en que en las que pueda obtenerse relaciones entre las variables deformación tensión y tiempo (Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005).

El comportamiento viscoelástico de una muestra se puede estudiar y caracterizar de diferentes modos (Ibarz y Barboza-Cánovas, 2005). Uno de ellos es mediante el estudio de la variación del esfuerzo cortante con el tiempo a una velocidad de deformación fija hasta alcanzar un equilibrio. Esta técnica es semejante a la caracterización tixotrópica y el análisis comparativo de los reogramas obtenidos permite una caracterización práctica de los ensayos.

También se puede caracterizar mediante la relajación del esfuerzo, donde se aplica en el alimento una deformación en cizalla simple y se observa la variación del esfuerzo con el tiempo de cizalla (Ramos e Ibarz, 2006).

Otra forma de caracterizar la viscoelasticidad de los fluidos alimenticios es mediante los ensayos reológicos dinámicos donde se aplica de forma oscilatoria una pequeña deformación o velocidad de deformación sobre un fluido y la amplitud de la respuesta del esfuerzo cortante y del ángulo de fase entre el esfuerzo cortante y la deformación se mide. Este ensayo corresponderá al estado de viscoelasticidad lineal si el esfuerzo es linealmente proporcional a la deformación aplicada y si la respuesta del esfuerzo es en forma de una onda sinusoidal. En el caso de un sólido elástico esta onda está en fase con la velocidad de deformación aplicada. Para un líquido viscoso ideal existe un desfase de  $90^\circ$  entre ellos. En fluidos viscoelásticos el ángulo de desfase está comprendido entre 0 y  $90^\circ$ . Este tipo de ensayo permite determinar la proporción entre el componente elástico y viscoso de un material y cuantificar en qué medida se comporta como sólido o como líquido. De hecho, se necesita conocer el valor de una serie de funciones viscoelásticas (Ramos e Ibarz, 2006).

Ibarz y Barboza-Cánovas (2005) indica que existen dos propiedades reológicas, el módulo de rigidez o de almacenamiento ( $G'$ ), que representa la parte elástica del material, y el módulo de pérdida ( $G''$ ), que representa su carácter viscoso. Si  $\gamma^0$  y  $\tau^0$  son, respectivamente, las amplitudes de las ondas de la deformación y esfuerzo, y  $\varepsilon$  el ángulo de desfase, los módulos  $G'$  y  $G''$  vienen definidos por:

$$G' = (\tau^0/\gamma^0) \cos \varepsilon$$

$$G'' = (\tau^0/\gamma^0) \sin \varepsilon$$

Para sistemas fluidos se define la viscosidad compleja como:

$$\eta^* = [ (\eta')^2 + (\eta'')^2 ]^{1/2}$$

en la que la  $\eta'$  es la componente viscosa en fase entre el esfuerzo y la velocidad de deformación, mientras que  $\eta''$  es la componente elástica o desfasada. Estas funciones de viscosidad se definen por:

$$\eta' = G'/\omega$$

$$\eta'' = G''/\omega$$

### **III. MÉTODOLÓGÍA**

#### **3.1. MATERIALES**

##### **3.1.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El proceso de extracción de los almidones de quinua se realizó en el laboratorio de investigación de leche y derivados de la planta piloto de leche. Mientras que la caracterización fisicoquímica y funcional de los almidones se realizó en el Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos y en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

##### **3.1.2. MATERIA PRIMA**

Se emplearon cinco variedades de granos de quinua procedentes de dos regiones del Perú:

- Región Cusco: Amarillo Maranganí (MR), Blanca de Junín (BJ), y INIA-427 Amarillo Sacaca (SC) que fueron adquiridas en la Estación Experimental Agraria Andenes-Cusco ubicada en el distrito Wanchaq de la provincia Cusco
- Región Junín: Rosada de Huancayo (RH) y Blanca de Hualhuas (BH) adquiridas a través del Programa de Cereales de la UNALM.

##### **3.1.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

###### **a. MATERIALES**

- Baldes de plástico de 10 L
- Bolsas de polietileno (8 mm de espesor)

- Bombillas de succión
- Campanas desecadoras con silicagel
- Cucharas
- Materiales de vidrio diversos (baguetas, beakers, fiolas, pipetas, placas Petri, probetas, tubos de ensayo con tapa)
- Micropipetas de 100 y 1000  $\mu\text{L}$
- Mortero y pilón
- Tamices de 80, 150, y 325 mesh
- Termómetro de mercurio (rango de -10 a 120 °C)
- Tubos de centrifuga de 50 mL

**b. EQUIPOS**

- Agitador magnético (MR Hei-Tec, Heidolph, Alemania)
- Agitador Vortex (Wizard, VELP® Scientific, USA)
- Balanza analítica (GR 200, A&D, China)
- Balanza de precisión (PA214, OHAUS, China)
- Baño maría (1083, GLF, Alemania)
- Centrifuga (SL40R, Thermo Fisher Scientific, Alemania)
- Centrifuga (5804 R, Eppendorf, Alemania)
- Espectrocolorímetro (CM-5, Konica Minolta, Japón)
- Espectrofotómetro. (10 S UV, Genesys, China)
- Estufa de circulación forzada (Venticell 111R, MMM, Alemania)
- Molino de discos (s/m, Corona, Perú)
- Multicalorímetro Diferencial de Barrido (MCDSC, TA Instruments, USA)
- Potenciómetro (HI 98127, HANNA Instruments, USA)
- Refrigeradora y congeladora (KAD62V40SA, Bosch, Alemania).
- Reómetro híbrido (DHR3 Discovery, TA Instruments, USA)
- Secador de bandejas (DRR-200, Reter, Perú)

**c. REACTIVOS**

- Ácido clorhídrico fumante 37% (Merck®, Alemania)

- Agua desionizada (~ pH = 7)
- Agua destilada (~ pH = 7)
- Amilopectina de almidón de papa (Sigma-Aldrich®, USA)
- Amilosa de papa Tipo III, esencialmente libre de amilopectina (Sigma-Aldrich®, USA)
- Dimetilsulfóxido 99% (DMSO) (Sigma-Aldrich®, USA)
- Hidróxido de sodio A.C.S (Fermont®, México)
- Yodo resublimado U.S.P. (I<sub>2</sub>) (Fermont®, México)
- Yoduro de potasio (KI) (Merck®, Alemania)

## **3.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **3.2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA**

#### **a. ANÁLISIS PROXIMAL**

El análisis de composición proximal comprendió: humedad (método N° 950.46), proteína total (método N° 984.13), ceniza (método N° 942.05), grasa (extracto etéreo, método N° 203.05) y fibra cruda (método N° 962.09) se llevó a cabo de acuerdo con los métodos oficiales descritos por la AOAC (2005), y los carbohidratos se determinaron por diferencia. El factor de conversión de proteína usado fue de 5.85. Resultados expresados en porcentaje.

#### **b. DETERMINACIÓN DE AMILOSA – AMILOPECTINA**

Para la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina se siguió el método mencionado por Peña (2017). La preparación de las soluciones, de la curva estándar y el procedimiento de medida se muestran en el Anexo 1. Resultados expresados en porcentaje.

#### **c. EVALUACIÓN DEL COLOR**

Las mediciones de color se realizaron en el espectrocolorímetro de acuerdo a la metodología indicada por Dufossé *et al.* (2005) con ligeras modificaciones, utilizando el software

SpectraMagic NX (CM-S100w). Los análisis se realizaron por reflectancia, las muestras de almidón se colocaron dentro de la placa Petri CM-A128 para su posterior medición. Se usó el iluminante de referencia D65 y con un ángulo de observación de 10°. El color se midió en el espacio de color CIELAB (L\*, a\*, b\*). Donde L\* es el parámetro que mide la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), mientras que a\* (verde para valores negativos y rojo para valores positivos) y b\* (azul para valores negativos y amarillo para valores positivos) la cromaticidad. El valor del ángulo de tono (H) y croma (C), también fueron determinados.

### 3.2.2. CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA

#### a. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD

Se empleó la metodología reportada por Jan *et al.* (2017a) con ligeras modificaciones. Se preparó una suspensión de almidón al 1% en base seca (p/v) en tubos de centrífuga y se colocó en un vortex durante 15 s. Posteriormente, las muestras se calentaron en un baño maría (con agitación constante) desde 55 a 95°C (en intervalos de 10°C) durante 30 min; y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se secó en una placa de Petri previamente pesada a 120°C por 24 h. El poder de hinchamiento (g/g) y la solubilidad (%) se calcularon como:

$$\text{Índice de solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso del sobrenadante seco}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\text{Poder de hinchamiento (g/g)} = \frac{\text{Peso de la pasta sedimentada}}{\text{Peso de la muestra} * (1 - \% \text{ Índice de solubilidad})}$$

Resultados expresados en porcentaje y en g/g, para la solubilidad y poder de hinchamiento respectivamente

#### b. CLARIDAD DE GELES DE ALMIDÓN

La transmitancia del almidón fue medida según lo descrito por Jan *et al.* (2017a) con ligeras modificaciones. Se preparó una suspensión acuosa de almidón al 1% en base seca (p/v) y se

calentó en un baño maría con agitación a 90°C por 1 h. En los primeros minutos se realizó una agitación constante de la suspensión con la ayuda de un vortex hasta la formación de gel, y luego, cada 5 min. Posteriormente, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se almacenaron a 4°C por 5 días. La transmitancia fue medida a 640 nm en el espectrofotómetro a los tiempos de almacenamiento de 0, 24, 48, 72, 96 y 120 h; usando como blanco agua destilada.

#### **c. SINÉRESIS**

Se determinó mediante el método de Singh *et al.* (2006) con ligeras modificaciones. Se prepararon soluciones de almidón al 5% en base seca (p/p) y se calentaron a 90°C durante 30 min en un baño maría con agitación, luego se enfriaron a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras de gel de almidón (20 g) fueron colocadas en tubos de centrífuga, previamente pesados, a 4°C. La sinéresis se midió a los 1, 3, 5 y 7 días como la cantidad de agua (%) liberada después de la centrifugación a 3200 × g durante 15 min.

#### **d. ESTABILIDAD AL CONGELAMIENTO**

La estabilidad a la congelación-descongelación del almidón se determinó mediante el método de Lawal *et al.* (2008) con algunas modificaciones basadas en Lindeboom (2005). Una suspensión acuosa de almidón al 5% (base seca) se calentó a 95°C en un baño maría con agitación constante durante 1 h. Se pesó la pasta (exactamente 20 g) en tubos de centrífuga previamente pesados. Se centrifugó a 1000 × g durante 10 min para eliminar el agua libre. El agua libre (sobrenadante) se decantó y los tubos con el gel de almidón restante fueron sometidos a 5 ciclos de congelación-descongelación (cada ciclo representa un día de almacenamiento), seguido por centrifugación a 4000 rpm durante 30 min (la congelación se realizó a -18°C por 18 h y la descongelación a 30°C durante 4 h). Se midió el porcentaje de agua separada después de cada ciclo.

#### **e. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN**

Se siguió la metodología descrita por Peña (2017). Las propiedades térmicas de gelatinización del almidón se determinaron mediante el uso de un multicalorímetro

diferencial de barrido. Se pesó la muestra de almidón (aproximadamente 20 mg en base seca) en la cápsula y se añadió agua ultra pura (almidón: agua = 1: 3), luego se selló la cápsula. Las muestras se calentaron de 25 a 115°C a una velocidad de calentamiento de 2°C/min. Las temperaturas reportadas fueron la inicial ( $T_o$ ), pico ( $T_p$ ) y la de conclusión ( $T_c$ ). La entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) se calculó por integración del área entre la curva endotérmica y una línea base bajo el pico y se expresó en términos de Joules por gramo de almidón seco. Antes de la medición de las propiedades térmicas, el equipo fue calibrado haciendo una corrida con muestras de agua ultra pura con lo cual se validó el correcto funcionamiento del equipo.

#### **f. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN**

Las mediciones reológicas se determinaron mediante el uso del Reómetro híbrido (DHR3 Discovery. TA Instruments, USA) y se empleó la geometría tipo Plato (SST ST XHATCH) de 40 mm de diámetro. El tamaño del gap fue establecido a 1 mm según lo reportado por López *et al.* (2010). Previamente se preparó el gel (Anexo 2). Se evaluaron las siguientes propiedades reológicas:

##### **- Comportamiento de flujo**

Se siguió la metodología descrita por Kong *et al.* (2010) con ligeras modificaciones. La muestra fue sometida a un cizallamiento a  $300 \text{ s}^{-1}$  durante 10 minutos para evitar cualquier tixotropía (datos no mostrados). Luego, sobre la misma muestra se llevaron a cabo los experimentos de cizallamiento en estado estacionario, en el intervalo de velocidad de cizallamiento ( $\dot{\gamma}$ ) de 0.1 a  $1000 \text{ s}^{-1}$  y de  $1000$  a  $0.1 \text{ s}^{-1}$  para describir el comportamiento del flujo. Luego los datos se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley (Ec. 1):

$$(1) \sigma = \sigma_o + k \dot{\gamma}^\eta$$

donde:  $\sigma$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\sigma_o$  es el umbral de fluencia (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de cizalla ( $\text{s}^{-1}$ ),  $k$  es el coeficiente de consistencia ( $\text{Pa s}^\eta$ ) y  $\eta$  es el índice reológico (adimensional).

## - **Propiedades viscoelásticas**

Se siguió la metodología descrita por Peña (2017). Se realizó un barrido de amplitud (0,1–100 Pa) para determinar la región de viscoelasticidad lineal a una frecuencia constante de 1 Hz. Luego se realizó un barrido de frecuencias a una deformación constante (1 Pa) y en el rango de 0,01–10 Hz. Los módulos de viscoelasticidad que se determinaron fueron:  $G'$  (módulo de almacenamiento),  $G''$  (módulo de pérdida) y  $\eta^*$  (viscosidad compleja) en función de la frecuencia oscilatoria. Las curvas resultantes fueron descritas por los siguientes modelos de la ley de la potencia:

$$G' = k' \times \omega^{n'}$$

$$G'' = k'' \times \omega^{n''}$$

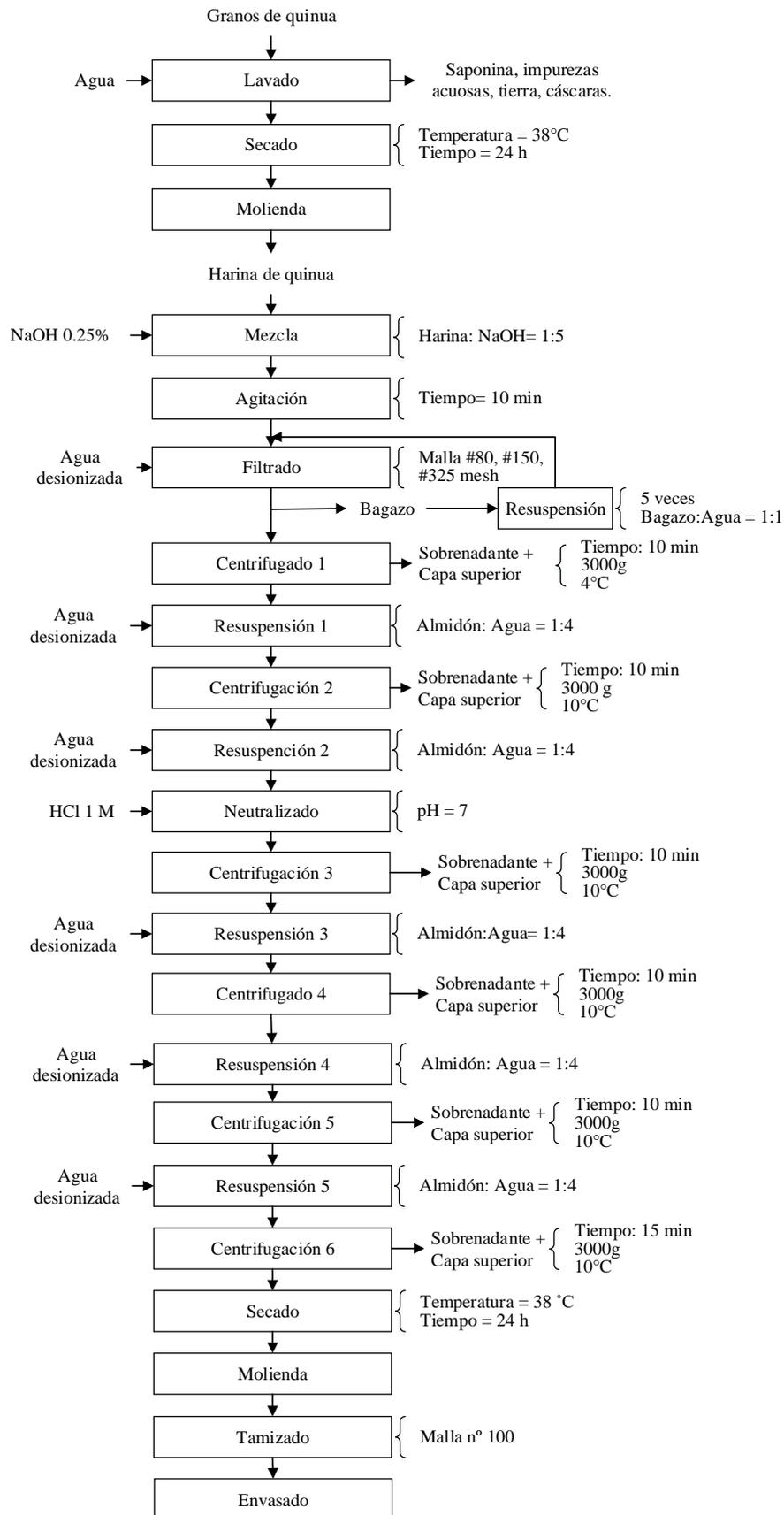
donde:  $G'$  es el módulo de almacenamiento (Pa),  $G''$  es el módulo de pérdida (Pa),  $\omega$  es la frecuencia (Hz) y  $k'$ ,  $k''$ ,  $n'$  y  $n''$  son constantes determinadas experimentalmente

### **3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.3.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN**

Se usó la metodología de extracción de Díaz (2016) con algunas modificaciones. El flujo de operaciones realizadas se presenta en la Figura 6 y se detalla a continuación:

- **Lavado.** Se realizó el proceso de lavado con frotación, hasta la ausencia de espuma, con la finalidad de eliminar la saponina. En este proceso también se eliminaron las cáscaras de las semillas, tierra y demás impurezas.
- **Secado.** Los granos de quinua desaponificados se colocaron en un secador de bandejas a una temperatura de 38°C por 24 h.
- **Molienda.** Se empleó el molino de discos para la obtención de la harina de quinua.
- .



**Figura 6: flujograma del proceso de extracción del almidón de quinua**

- **Mezcla.** Para la solubilización y posterior eliminación de la proteína, se mezcló harina de quinua e hidróxido de sodio al 0.25% en la proporción de 1:5.
- **Agitación.** La solución anterior se agitó manualmente por 10 min con la finalidad de asegurar la solubilización de las proteínas
- **Filtración.** La solución anterior se pasó a través del tamiz de 80 mesh en donde se retuvo las partículas gruesas; posteriormente en tamiz de 150 mesh y finalmente en el de 325 mesh, para la retención de partículas finas y fibra. Luego, los bagazos obtenidos en cada filtrado se volvieron a reconstituir con agua desionizada en la proporción 1:1, con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de almidón. Seguidamente, se volvió a pasar la nueva suspensión a través de la serie de tamices indicados anteriormente. Este procedimiento se realizó cinco veces para mejorar el rendimiento de extracción de almidón
- **Centrifugado 1** El filtrado obtenido se centrifugó a  $3000 \times g$  por 10 min a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris de la superficie, en la cual se encontraba la proteína solubilizada.
- **Resuspensión 1.** El sedimento (almidón) se colocó en un recipiente y se agregó agua desionizada en proporción de 1:4 y se agitó manualmente hasta su completa disolución.
- **Centrifugado 2.** La solución obtenida se centrifugó a  $3000 \times g$  por 10 min a  $10^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris de la superficie.
- **Resuspensión 2.** El sedimento (almidón) se colocó en un recipiente y se agregó agua desionizada en proporción 1:4 y se agitó manualmente hasta su completa disolución.
- **Neutralizado.** Se neutralizó la solución adicionando cuidadosamente HCl 1 M hasta el pH neutro (7).

- **Centrifugado 3.** La solución obtenida se centrifugó a  $3000 \times g$  por 10 min a  $10^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris restante de la superficie.
- **Resuspensión 3.** El sedimento (almidón) se colocó en un recipiente y se agregó agua desionizada en proporción 1:4 y se agitó manualmente hasta su completa disolución.
- **Centrifugado 4.** La solución obtenida se centrifugó a  $3000 \times g$  por 10 min a  $10^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris restante de la superficie.
- **Resuspensión 4.** El almidón obtenido se mezcló con agua en la proporción de 1:4. Se agitó manualmente por 5 min hasta la completa dispersión del almidón y eliminación de las sales formadas durante el proceso de neutralización.
- **Centrifugado 5.** La solución obtenida se centrifugó a  $3000 \times g$  por 10 min a  $10^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris restante de la superficie.
- **Resuspensión 5.** El almidón obtenido se mezcló con agua en la proporción de 1:4. Se agitó manualmente por 5 min hasta la completa dispersión del almidón y eliminación de las sales formadas durante el proceso de neutralización.
- **Centrifugado 6.** La solución obtenida se centrifugó a  $3000 \times g$  por 15 min a  $10^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se eliminó el sobrenadante y la capa gris restante de la superficie.
- **Secado.** El almidón se colocó sobre papel aluminio y se llevó a estufa a  $38^{\circ}\text{C}$  por 24 h.
- **Molienda.** El almidón seco se molió manualmente en el mortero.
- **Tamizado.** El almidón obtenido se pasó a través de un tamiz de 100 mesh.
- **Envasado.** Finalmente, el producto obtenido (carbohidratos), considerado como almidón, fue envasado en bolsas de polietileno de alta densidad y colocadas en contenedores herméticos que contenían sílica gel.

### **3.3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El esquema experimental para el desarrollo de la presente investigación se muestra en la Tabla 9.

### **3.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

En esta investigación se aplicó el diseño completamente al azar (DCA) en el cual los tratamientos fueron las variedades de quinua (variable independiente) y las variables dependientes son los resultados de la caracterización fisicoquímica y tecnofuncional (etapa II) (Tabla 9).

Se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias de los rendimientos de extracción, las características fisicoquímicas y las características funcionales de los almidones. Para un valor de  $p$  menor que 0.05, se realizó la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) para determinar las medias significativamente diferentes. El programa estadístico empleado para el análisis de los datos obtenidos fue STATGRAPHICS ® CENTURION XVI.

**Tabla 9: Esquema experimental**

Etapas	Materia prima	Obtención del almidón	
Variables	Quinoa de 5 variedades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blanca de Hualhuas</li> <li>• Rosada de Huancayo</li> <li>• Amarillo de Maranganí</li> <li>• INIA-427 Amarillo Sacaca</li> <li>• Blanca de Junín</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almidón Blanca de Hualhuas</li> <li>• Almidón Rosada de Huancayo</li> <li>• Almidón Amarillo de Maranganí</li> <li>• Almidón Amarillo Sacaca</li> <li>• Almidón Blanca de Junín</li> </ul>	
Análisis	Análisis proximal	Caracterización físicoquímica <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis proximal</li> <li>• Contenido de amilosa aparente</li> </ul>	Caracterización tecnofuncional <ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de solubilidad, poder de hinchamiento</li> <li>• Claridad de la pasta de almidón</li> <li>• Estabilidad a la refrigeración y congelamiento</li> <li>• Propiedades térmicas de los geles de almidón</li> <li>• Comportamiento reológico de los geles de almidón de quinoa</li> </ul>

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA HARINA DE QUINUA

#### 4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

Los resultados de análisis proximal de las harinas de quinua, previamente desaponificadas, se presentan en la Tabla 10. El análisis de varianza muestra que hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexos 3, 4, 5, 6, 7 y 8) en el contenido de humedad, carbohidratos, proteína, grasa, fibra cruda y cenizas por efecto de la variedad en las harinas de quinua evaluadas. El contenido de carbohidratos fue mayoritario en todas las harinas de quinua evaluadas, el cual varió desde 70.72 a 78.85 por ciento. Resultados similares han sido reportados en otras investigaciones: 75.3 a 77 por ciento para quinuas peruanas (Pereira *et al.*, 2019), y 73.6 a 75.8 por ciento para quinuas amargas y dulces de Bolivia (Wright *et al.*, 2002). Vilcacundo y Hernández-Ledesma (2017) indican que el almidón es el principal componente de los carbohidratos.

Por otro lado, según la NTP 011.451 (INDECOPI, 2013), la harina de quinua debe tener como 13.5% de humedad como máximo; por lo que, las harinas evaluadas cumplen con esta especificación, pues la humedad fluctúa entre 12.05 y 13.06%. Sin embargo, son ligeramente mayores a los valores mencionados por (IICA, 2015) para las mismas variedades de quinua.

Los valores de proteína fueron altos en comparación con otros cereales como el arroz o cebada, los cuales tienen un contenido de 6.81 y 9.91 por ciento (USDA, 2015, citado por Navruz-Varli & Sanlier, 2016), respectivamente. El alto contenido de proteínas de la harina de quinua lo transforma en un producto interesante y atractivo para ser incorporado diferentes formulaciones alimentarias tales como: harinas de cereales, postres de frutas, etc (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019). La variedad Rosada de Huancayo presentó el contenido más alto de proteína (15.39%) y la Blanca de Junín el contenido más bajo (11.23%).

Estos valores se encuentran cercanos a los reportados por Pérez (2019) (12.0%) y Wright *et al.* (2002) (16.1%), en quinuas peruanas y bolivianas respectivamente. Sin embargo, IICA (2015) señala un contenido de proteína de 13.5 por ciento para la variedad BJ, mientras que Chagua y Palomino (2014) indican un valor de 17.2 por ciento para la misma variedad. Rosas (2015) afirma que, si bien la cantidad de proteínas es propia de la variedad, ésta puede verse influenciada por el nivel de fertilización que se utilice en la campaña agrícola, lo cual puede explicar las diferencias obtenidas.

**Tabla 10: Análisis proximal de las harinas de quinua**

Variedad de quinua*	Humedad	Carbohidratos (% b.s)	Proteína (% b.s)	Grasa (% b.s)	Fibra cruda (% b.s)	Ceniza (% b.s)
BH	12.22 ± 0.01 <sup>a</sup>	72.91 ± 0.11 <sup>b</sup>	12.83 ± 0.26 <sup>b</sup>	6.02 ± 0.14 <sup>c</sup>	5.23 ± 0.28 <sup>e</sup>	2.12 ± 0.02 <sup>a</sup>
BJ	12.96 ± 0.12 <sup>b</sup>	75.87 ± 0.46 <sup>c</sup>	11.23 ± 0.11 <sup>a</sup>	5.55 ± 0.11 <sup>b</sup>	3.92 ± 0.23 <sup>c</sup>	2.65 ± 0.00 <sup>d</sup>
MR	13.06 ± 0.04 <sup>b</sup>	75.35 ± 0.31 <sup>c</sup>	12.90 ± 0.13 <sup>b</sup>	5.01 ± 0.33 <sup>a</sup>	3.20 ± 0.13 <sup>b</sup>	2.66 ± 0.02 <sup>d</sup>
RH	12.05 ± 0.14 <sup>a</sup>	70.72 ± 0.16 <sup>a</sup>	15.39 ± 0.23 <sup>c</sup>	5.74 ± 0.01 <sup>bc</sup>	4.59 ± 0.09 <sup>d</sup>	2.50 ± 0.01 <sup>b</sup>
SC	12.89 ± 0.02 <sup>b</sup>	78.85 ± 0.12 <sup>c</sup>	13.20 ± 0.19 <sup>b</sup>	4.77 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.70 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.58 ± 0.01 <sup>c</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca

El contenido de grasa en las harinas de quinua estuvo entre 4.77 y 6.02 por ciento. Resultados similares fueron reportados por Contreras-Jiménez *et al.* (2019)(5.47%) y Pereira *et al.*, (2019) (6.0-6.8%). Estos valores son mayores a los reportados para arroz y el trigo, con 0.7 y 1.7 por ciento, respectivamente (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017). Al respecto, Navruz-Varli y Sanlier (2016) señalan que la quinua es aceptada como una semilla oleosa alternativa, pues podría presentar un contenido de grasa de 2 al 10 por ciento (Valencia-Chamorro, 2016). Vera *et al.* (2014) al estudiar 3 diferentes cultivares de quinua (Salcedo INIA, INIA 420 Negra Collana, INIA 415 Pasankalla) encontró valores de 7.10 hasta 9.08 por ciento de contenido de grasa.

Los resultados del contenido de ceniza, los cuales se relacionan con la cantidad de minerales (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019), se encontraron dentro del rango reportado por Vilcacundo y Hernández-Ledesma (2017) (2.7-3.8%), y son menores a los mencionado por Wright *et al.* (2002) (2.9-3.5%). El valor más elevado de cenizas lo presentó la variedad Amarillo de Maranganí (2.66) y el más bajo la Blanca de Hualhuas (2.12%). Vega-Gálvez *et al.* (2010) indican que el tipo de suelo y la composición mineral de la región y/o la aplicación de fertilizante pueden influenciar en el contenido de minerales, explicando así las diferencias obtenidas.

Con respecto a la fibra cruda, en esta investigación se encontró que el contenido de fibra cruda estuvo en el rango de 2.7-5.23%, que es cercano a lo reportado por Valencia-Chamorro, (2016) (2.5-3.9%), mientras que es mayor al rango reportado por Pajarito (2005) (1.32-3.07%). Los valores encontrados pueden ser mayores debido a que los granos de quinua no fueron sometidos a un proceso de escarificado o pulido; pues, Pajarito (2005) encontró que las variedades de quinua pulidas presentaron un contenido de fibra mayor que aquellas sin pulir. Incluso, Wright *et al.* (2002) señala valores de 9.6% de fibra en quinuas dulces de Bolivia.

Las variaciones del contenido de proteína, lípidos, ceniza y fibra entre las muestras de quinua estudiadas pueden ser atribuidas a las condiciones de producción (clima, suelo, temperatura, manejo) y las características genéticas de los cultivares (Díaz, 2016). Esto también es afirmado por Cervilla *et al.* (2012), quien encontró diferencias significativas en los análisis proximales de muestras de quinua de distintas cosechas.

## **4.2. EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES DE QUINUA**

Los rendimientos obtenidos de la extracción de las 5 variedades de quinua se muestran en la Tabla 11, en donde se observa que la variedad de menor rendimiento fue la Rosada de Huancayo y el mayor rendimiento lo obtuvo la BJ, con 26.77 y 33.78 por ciento respectivamente. Los resultados obtenidos son mayores a lo reportado por Ortega (2008), quien obtuvo un rendimiento de 25.7 por ciento en quinua del ecotipo Mata Redonda (Chile); pero menores a los indicados por Díaz (2016) que tuvo valores de 39 y 50.2 por ciento para las variedades de quinuas blancas (variedad Syetetuba de Brasil y Salcedo de Perú).

Inclusive, Wright *et al.* (2002) obtuvieron valores de rendimiento de 53.3 por ciento en quinuas amargas de Bolivia.

Los resultados del rendimiento de extracción de los almidones de quinua evaluados presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), lo que podría deberse a diferentes factores. Uno de ellos es el tipo de variedad de quinua, así Jan *et al.*, (2017a) y Arzapalo *et al.* (2015) encontraron diferencias en el rendimiento de extracción del almidón empleando diferentes variedades de quinua. Asimismo, la Tabla 11 y el Anexo 9 (Análisis de varianza) muestran que la variedad de quinua influye significativamente en el rendimiento.

Otro factor para considerar es el método de extracción usado. Jan *et al.* (2017b) encontraron mayores rendimientos de extracción al realizar el remojo alcalino de la harina de quinua que en los granos de quinua. Por esta razón, en este estudio se empleó la extracción con remojo en medio alcalino para asegurar un mayor rendimiento de extracción.

**Tabla 11: Rendimiento de extracción de almidón de cinco variedades de quinua**

Variedad de quinua	Rendimiento (%)
Blanca Hualhas	29.51 ± 0.34 <sup>b</sup>
Blanca de Junín	33.78 ± 0.89 <sup>c</sup>
Amarillo de Maraganí	30.50 ± 0.90 <sup>b</sup>
Rosada de Huancayo	26.77 ± 1.12 <sup>a</sup>
INIA-427 Amarillo Sacaca	27.67 ± 1.16 <sup>a</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Incluso, Jan *et al.* (2017b) indica que la molienda previa favorece la liberación máxima de proteína en una solución alcalina porque hay un contacto efectivo entre la proteína y el álcali. Sin embargo, los valores bajos también pueden ser debido al proceso de purificación ya que en los centrifugados realizados hay pérdidas, tal como lo menciona Ortega (2008). Incluso, este autor explica que esto se debe a que los gránulos pequeños se quedan atrapados en la proteína que luego es descartada, por lo que indica adicionar al proceso etapas de centrifugación para purificar por separado el sobrenadante (que lleva parte de almidón) y el

almidón (que contiene proteínas), para obtener un mayor rendimiento. Sin embargo, esto podría darnos como consecuencia la obtención de un almidón con un mayor porcentaje de proteína y por consiguiente con una menor pureza.

Por otro lado, según Cereda, 2001, citado por Díaz (2016), durante la extracción del almidón, tanto en laboratorio como en procesos industriales, difícilmente se obtiene el 100% de extracción; es decir, retirar de la materia prima todo el almidón que contiene.

### **4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES DE QUINUA**

#### **4.3.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL**

En la Tabla 12 se muestra los resultados de los análisis proximales (humedad, proteína, grasa, fibra cruda y ceniza) realizados a los almidones de quinua obtenidos. Tal como lo menciona Díaz (2016), estos análisis se realizan con el fin de evaluar la eficacia u efectividad del proceso de extracción.

Los contenidos de humedad de los almidones de quinua estudiados mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 10) y se encontraron en el rango de 9.50 a 10.52 por ciento; estos valores son menores a los reportados por Pagno *et al.* (2015) (11.39%), pero son mayores a los obtenidos por Jan *et al.* (2017b) (8.49%). Se recomienda para la comercialización de almidones de cereales, la humedad debe ser menor a 15 por ciento (Díaz, 2016). Los resultados de esta investigación cumplen con las recomendaciones mencionadas, incluso se encuentran dentro del rango de humedad usualmente aceptado para productos secos con un deseable tiempo de vida y es inferior al valor permitido ( $< 20\%$ ) para otros almidones convencionales (Torres *et al.*, 2013). Asimismo, Yousif *et al.*, 2012, citado por Peña (2017) mencionan que el bajo contenido de humedad, generalmente, evidencia una alta estabilidad durante el almacenamiento y que los almidones están protegidos de la proliferación de moho, además tienen un alto rendimiento en peso seco.

Con respecto a los de carbohidratos, los almidones presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 11) y valores altos, siendo este el componente mayoritario. Lo cual es algo

deseable debido a que la cantidad de carbohidratos nos da una idea de la cantidad de almidón obtenido (Tovar, 2008). Incluso, Jan *et al.* (2017b) considera a los carbohidratos como la pureza del almidón, quien reporta valores de 98.30%. Arzapalo *et al.* (2015) obtuvo valores de carbohidratos de 93.53, 93.00 y 90 por ciento, para las variedades negra Collana, Pasankalla roja y Blanca de Junín respectivamente. Los resultados de esta investigación se encontraron dentro de lo mencionado por la literatura, por lo que se pueden considerar almidones con una alta pureza.

**Tabla 12: Análisis proximal de almidones de quinua**

Almidón de quinua*	Humedad	Carbohidratos (% b.s)	Proteína (% b.s)	Grasa (% b.s)	Fibra cruda (% b.s)	Ceniza (% b.s)
BH	9.50 ± 0,13 <sup>a</sup>	97.97 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.02 <sup>b</sup>
BJ	9.78 ± 0,06 <sup>a</sup>	98.04 ± 0.29 <sup>a</sup>	1.42 ± 0.25 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>b</sup>
MR	10.52 ± 0,07 <sup>b</sup>	98.62 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.02 <sup>a</sup>
RH	9.73 ± 0,23 <sup>a</sup>	98.70 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.07 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>a</sup>
SC	10.46 ± 0.13 <sup>b</sup>	98.05 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.90 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.20 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>c</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maragani; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 12), en el contenido de proteína de los almidones de quinua. Lindeboom *et al.* (2005) reporta rangos de proteína en los almidones de quinua de 0.1-1.2 por ciento, mientras que Jan *et al.* (2017a) indican valores de 0.89-0.95 por ciento. La mayoría de los valores obtenidos son ligeramente mayores a los rangos mencionados anteriormente, sobretodo en la variedad Blanca de Hualhuas que fue la que obtuvo el mayor contenido de proteína (1.50%). Las diferencias obtenidas se pueden atribuir al método de extracción utilizado y a las condiciones en la que esta se realiza (concentración del álcali, tiempo de remojo, etc.). Jan *et al.* (2017b) encontraron que estos factores influyen en el contenido de proteínas en los almidones de quinua; además indican como proceso óptimo el uso de NaOH al 0.25 por ciento con un tiempo de remojo de 24 horas. Por otro lado, los valores altos pueden ser debidos a que no se realizaron los

suficientes lavados durante el proceso de purificación del almidón, tal como realizó Díaz (2016), quien efectuó 10 lavados y obtuvo valores de proteína en el rango de 0.29-0.94 por ciento. Otras investigaciones, en donde se efectuaron pocos lavados, obtuvieron valores de proteína de 0.9-1.69 (Jan *et al.*, 2017b) y 1.09-1.13 por ciento (Steffolani *et al.*, 2013), los cuales se encuentran cercanos a los resultados obtenidos.

Si bien las metodologías que utilizan un mayor tiempo de remojo (24 horas) obtienen un menor contenido de proteína residual en los almidones, esto a su vez podrían afectar al almidón. Ya que como menciona Li y Zhu (2018b) el remojo prolongado puede dar lugar a problemas microbianos, mientras que el pH alterado puede inducir daño a los gránulos de almidón. En la metodología utilizada el tiempo de remojo con el pH alcalino fue mínimo (10 min), para evitar alterar el almidón; sin embargo, el poco tiempo de contacto del NaOH con la harina de quinua puede que no permitiera una buena eliminación de la proteína dando como resultado valores ligeramente mayores a los reportados por los diferentes autores. La importancia de tener valores bajos de proteína radica en que la pureza del almidón se basa en el contenido de ella (Jan *et al.* 2017b). Además, desde el punto de vista industrial, la presencia de proteínas influye en las propiedades de viscosidad, térmicas y estabilidad del almidón (Pardo *et al.*, 2013). Adicionalmente, Torres *et al.* (2013) indica que los almidones con altos contenidos de proteínas son pocos viables a ser usados en la fabricación de jarabes con alto contenido de glucosa, considerando que se favorecerían las reacciones de Maillard que se pueden presentar durante el procesamiento de estos productos. Sin embargo, se tiene que considerar que es complicado la remoción del material proteico durante la obtención del almidón de quinua (Araujo-Farro, 2008 y Lorenz, 1990; citados por Díaz, 2016); y que aún después del proceso de extracción de almidón, el componente proteico estará presente en pequeñas cantidades, debido a que forma complejos con los compuestos moleculares de los gránulos de almidón nativo (Pérez *et al.*, 2005, citados por Torres *et al.*, 2013). Incluso, los resultados obtenidos no se encuentran tan alejados a los mencionados por otros autores. Pagno *et al.* (2015), utilizó una metodología muy similar a la realizada y su contenido de proteína fue de 1.3 por ciento.

En el contenido de grasa, sólo la variedad Amarillo de Maranganí presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 13), con respecto a las otras variedades de almidones de quinua. Jan *et al.* (2017b), indican que esta diferencia puede ser debido a la composición

genética de la semilla. Por otro lado, se observa que los valores obtenidos son bajos en comparación a lo indicado por otros investigadores, quienes reportan valores desde 0.35 hasta 0.81 por ciento (Contreras-Jiménez *et al.*, 2019; Jan, *et al.*, 2017b; Ortega, 2008). La presencia de grasas o lípidos no es deseable en los almidones debido a que influye en sus propiedades funcionales, al evitar su unión con las moléculas de agua (Díaz, 2015). Además, Montoya *et al.* (2014) redacta que la presencia de sustancias grasas puede ocasionar problemas debido a la tendencia a la rancidez durante el almacenamiento.

A pesar de que no se usó ningún reactivo específico para la remoción de grasa, la metodología usada fue efectiva para su máxima eliminación. Tovar (2008) menciona que se suele utilizar éter de petróleo para extraer los lípidos libres; tal como lo realizó (Qian y Kuhn, 1999), quienes desengrasaron el almidón de quinua con éter. Por otro lado, la efectividad de la eliminación de la grasa puede ser debido a la cantidad de centrifugados realizados, ya que como indica Tovar (2008) la capa superior formada después de la centrifugación está compuesta por proteínas y lípidos, la cual fue removida en cada centrifugación realizada.

Por otra parte, se puede apreciar que el contenido de fibra del almidón de la variedad INIA-427 Amarillo Sacaca presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 14) con respecto a las otros; siendo además la que obtuvo el mayor valor. Los almidones de esta investigación tuvieron cantidades mínimas de fibra, variando desde 0 a 0.5 por ciento. Estos valores se encuentran cercanos a los reportados en otros trabajos de investigación en almidones de quinua, en donde se reportan valores de 0.1 hasta 0.24 por ciento (Jan *et al.* 2017a; Jan *et al.*, 2017b; Steffolani *et al.*, 2013). Por otro lado, Pagno *et al.* (2015) indicó un contenido de 3% de fibra en almidones de quinua de Bolivia.

Los valores de ceniza también presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 15). El valor más alto de ceniza lo obtuvo la variedad Amarillo de Maranganí y la más baja la INIA-427 Amarillo Sacaca; con valores de 0.11 y 0.49 por ciento; respectivamente. Se reportan valores de ceniza desde 0,18 (Jan *et al.*, 2017a) hasta 1.64 por ciento (Steffolani *et al.*, 2013) en los almidones de quinua. Los resultados de esta investigación se encuentran dentro del rango mencionado por diferentes autores.

Vargas *et al.* (2016) afirman que la cantidad de cenizas presentes en los almidones representa la cantidad de sales remanentes y minerales que permanecieron producto del método de extracción y de la cantidad de minerales de la materia prima. Es por ello que valores obtenidos son bajos, debido a que después de la neutralización se realizaron lavados sucesivos al almidón para eliminar los residuos de la neutralización.

#### 4.3.2. EVALUACIÓN DEL COLOR

Otra característica evaluada fue el color, el cual es un atributo importante en los almidones porque influye en la aceptabilidad de los consumidores como materia prima y define la calidad del producto final (Díaz *et al.*, 2016). La determinación de color en los almidones de quinua fue a través de un colorímetro del espacio de color CIELAB, en donde se identifica el color en tres atributos, L\* (blanco = 100; negro = 0), a\* (positivo = rojo; negativo = verde) y b\* (positivo = amarillo; negativo = azul) (Araujo-Farro *et al.*, 2010). La Tabla 13 muestra los resultados promedios de luminosidad (L\*) y parámetros de cromaticidad (a\* y b\*) obtenidos.

**Tabla 13: Parámetros de color de los almidones de quinua**

Almidón de quinua *	L*	a*	b*	C	H
BH	99.27 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.22 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.04 <sup>ab</sup>	82.28 ± 0.55 <sup>a</sup>
BJ	99.09 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.01 <sup>a</sup>	90.11 ± 0.54 <sup>c</sup>
MR	99.13 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.09 <sup>b</sup>	85.46 ± 0.29 <sup>b</sup>
RH	99.32 ± 0.30 <sup>b</sup>	0.01 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.39 ± 0.20 <sup>bc</sup>	87.33 ± 2.88 <sup>b</sup>
SC	98.79 ± 0.19 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.56 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.56 ± 0.03 <sup>c</sup>	86.85 ± 0.84 <sup>b</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca

En la luminosidad, la variedad INIA-427 Amarillo Sacaca presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 16) con respecto a las otros; siendo además la que obtuvo el menor valor. El bajo valor puede ser debido a que los pigmentos de color fueron lixiviados durante el proceso de extracción del almidón (Falade y Christopher, 2015). Según García *et al.* (2013), la luminosidad toma un valor máximo de 100 para un color netamente blanco. Los valores de  $L^*$  obtenidos encuentran muy cercanos a 100, lo cual es algo favorable ya que indican alto grado de pureza (Díaz, 2016). En almidones de quinua, Jan *et al.* (2017a) obtuvo valores de luminosidad de 96.8 y 97.27; mientras que Díaz (2016) mostró valores de 99.0 y 99.4 para las variedades de quinua blancas.

Existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 16) entre los parámetros de cromaticidad ( $a^*$  y  $b^*$ ) de los almidones evaluados. El análisis de color mostró valores  $a^*$  en el rango de 0.00 a 0.17 y  $b^*$  1.05 a 1.56. Los valores positivos de  $a^*$  y  $b^*$  indican una ligera tendencia al color rojo y amarillo respectivamente. Así mismo, se observaron que los valores de los parámetros de cromaticidad fueron muy bajos, incluso la data de  $a^*$  obtenida fue muy cercana a cero. Lo cual es conveniente, debido a que Sánchez, citado por Peña (2017), menciona que cuando los parámetros de cromaticidad ( $a^*$  y  $b^*$ ) son cercanos a cero, la muestra evaluada tiene un color blanco. Además, Gani *et al.* (2010) redacta que se desea valores bajos de croma y altos valores de luminosidad para el almidón satisfaga las preferencias del consumidor. Este mismo autor reseña que cualquier pigmentación en el almidón se traslada al producto final, reduciendo la calidad y; por lo tanto, la aceptabilidad. En general, los almidones obtenidos cumplen con lo mencionado, siendo la variedad Rosada de Huancayo la que obtuvo los valores más bajos de croma y una alta luminosidad.

Por otro lado, los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  en conjunto con  $L^*$  determinan el color del estímulo (en coordenadas cartesianas o rectangulares), esto corresponde al término de cromaticidad; pero no indica la saturación o el tono. Sin embargo, esto se soluciona definiendo los parámetros H (ángulo de tono) y C (croma) (Janampa, 2017). Con respecto a H, se obtuvo valores entre 82.28 y 90.11, para las variedades Blanca de Hualhuas y Blanca de Junin respectivamente. Estos valores indican que está ubicado en el primer cuadrante según CIELAB (coloraciones entre rojo y amarillo, inclinándose más hacia este último). Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014) indican que C generalmente no pasa de 150 y que para estímulos

acromáticos toma valor 0; en este estudio los valores de C se encuentran en el intervalo de 1.05 a 1.56.

### 4.3.3. CONTENIDO DE AMILOSA– AMILOPECTINA

El contenido de amilosa, en los almidones de quinua evaluados, mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 17). En la Tabla 14 se presenta la data obtenida, en donde se observa que el porcentaje de amilosa varía desde 19.3 a 20.8 por ciento. Los valores de amilosa encontrados fueron mayores a los reportados por algunos autores, quienes estimaron contenidos de amilosa entre 3.5 y 12 por ciento (Lindeboom *et al.*, 2005; Qian y Kuhn, 1999; Steffolani *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2002); sin embargo, también se han reportado valores hasta de 27 por ciento (Inouchi *et al.*, 1999). Además, los valores obtenidos se encuentran acorde a lo referido por Li *et al.* (2016), quienes obtuvieron valores de 7.7 a 25.7 por ciento de contenido de amilosa aparente en almidones de 26 tipos de quinua de diferentes países. Las diferencias encontradas son explicadas por Wright *et al.* (2002) y Jan *et al.* (2017b), quienes indican que el origen botánico, periodo de cosecha, las condiciones climáticas y de crecimiento influyen en el contenido de amilosa de los almidones.

Lindeboom *et al.* (2005) menciona que cuando se analizan los almidones sin desengrasar se miden los contenidos de amilosa aparente, el contenido total se mide cuando no hay presencia de lípidos (Díaz, 2016). Hoover y Ratnayake (2001) explican que el desengrasado se realiza porque que las cadenas de amilosa con complejos lipídicos interfieren con la formación del complejo amilosa-yodo. En este estudio no se realizó el desengrasado previo, debido a que el contenido de grasa fue casi despreciable (0%) en casi todos los almidones de quinua obtenidos con la excepción de la variedad Amarillo de Maranganí (Tabla 12), la cual obtuvo 0.11 por ciento en promedio. Peña (2017), en su investigación con almidones de papa con contenidos de grasa de 0 a 0.09 por ciento, menciona que cuando se tiene un contenido bajo en grasa el contenido de amilosa aparente es equivalente al contenido total. Incluso, Wright *et al.* (2002) no encontró diferencias significativas entre el contenido de amilosa total y aparente en almidones de quinua dulce y amarga, los cuales indican que es debido a que hubo muy pocos lípidos asociados con sus almidones aislados.

Con respecto a la metodología, Perez-Rea y Antezana-Gomez (2018) mencionan que en estudios previos se han usado métodos basados en la formación de complejos de amilosa-yodo o en la formación del complejo específico entre la lectina concanavalina A y la amilopectina, para determinar el contenido de amilosa en almidones de quinua. La

metodología usada en esta investigación fue colorimétrica. Yaruro (2018) indica que el método analítico de cuantificación también influye en el contenido de amilosa. Siendo esto afirmado por Lindeboom *et al.* (2005), quienes encontraron diferencias significativas al utilizar dos metodologías (cromatografía de exclusión por tamaño y colorimétrica) en la determinación del contenido de amilosa en almidones de quinua. Esto también explicaría las diferencias entre los valores obtenidos con respecto a la literatura.

**Tabla 14: Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones de quinua**

Almidón de quinua	% Amilosa	% Amilopectina
Blanca Hualhas	19.3 ± 0.88 <sup>a</sup>	80.7 ± 0.88 <sup>b</sup>
Blanca de Junín	20.7 ± 0.58 <sup>b</sup>	79.3 ± 0.59 <sup>a</sup>
Amarillo de Maraganí	20.8 ± 0.19 <sup>b</sup>	79.2 ± 0.20 <sup>a</sup>
Rosada de Huancayo	19.4 ± 0.78 <sup>a</sup>	80.6 ± 0.79 <sup>b</sup>
INIA-427 Amarillo Sacaca	19.5 ± 0.51 <sup>a</sup>	80.5 ± 0.52 <sup>b</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

Un factor importante a evaluar en los almidones es la relación de amilosa/amilopectina debido a que influye en sus propiedades funcionales y con ello su aplicación específica que se puede dar en un producto (Alvis *et al.*, 2008). Zárate-Polanco *et al.* (2016), obtuvieron almidones de papa con el rango de amilopectina entre 74.68 y 78.16 por ciento, y lo consideraron altos en amilopectina con una posible aplicación en la industria de panificación debido a que hace que los productos tengan mayor suavidad, estabilidad y evitando la retrogradación. En general, el contenido de amilopectina de los almidones de quinua fue mayor al rango indicado anteriormente, siendo la variedad Blanca de Junín la que obtuvo el mayor valor; lo cual los hace atractivos para su aplicación en la industria alimentaria puesto que la amilopectina produce geles espesos y estables, que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Yaruro, 2018). Otras posibles aplicaciones pueden ser en la elaboración de cremas instantáneas, budines o flanes, debido a que en estos productos se requieren variedades de quinua con mayor amilopectina (Gandarillas *et al.*, 2014).

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES DE QUINUA

##### 4.4.1. PODER DE HINCHAMIENTO (PH) Y SOLUBILIDAD (S)

Las propiedades de PH y S se evaluaron porque proporcionan evidencia del grado de interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfos y cristalinos del gránulo (Lin *et al.*, 2010). En la Tabla 15 se presentan los valores de PH y S evaluados a diferentes temperaturas para los almidones de quinua en estudio; y el análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias (Anexo 18 y 19, respectivamente) muestran que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) por efecto de la variedad.

En la Figura 7 se observa que el poder de hinchamiento fue aumentando gradualmente con la temperatura, en todos los almidones evaluados. Esto es debido a que se da una absorción irreversible y progresiva del agua, como consecuencia de la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas (Hernández-Medina *et al.*, 2008). Al igual que Li *et al.* (2016) los almidones evaluados mostraron el hinchamiento en dos etapas en el rango de temperatura de 55 a 95°C. Esto significa que se requieren dos tipos de entradas de energía para causar la disociación granular (Soni y Agarwal, 1983, citados por Li *et al.*, 2016).

Por otro lado, el almidón que mostró mayor poder de hinchamiento a 95°C fue la variedad Blanca de Junín (16.26 g/g), mientras que la menor fue la INIA-427 Amarillo Sacaca (12.98 g/g). Se ha informado que el poder hinchamiento del almidón depende de su contenido de amilopectina; mientras que la amilosa actúa como un disolvente e inhibidor del hinchamiento, especialmente en presencia de lípidos (Díaz, 2015; Singh *et al.*, 2006). Esto concuerda con la mayoría de los resultados obtenidos ya que las variedades Rosada de Huancayo y BJ, las cuales tienen menor contenido de amilosa (Tabla 14) presentan mayores valores de poder de hinchamiento. Sin embargo, en la variedad Amarillo de Maranganí no se cumple este principio, puesto que debido a su mayor contenido de amilosa debería tener el menor poder de hinchamiento. Esto es explicado por Li *et al.* (2011) y Robles (2012), quienes indican que no sólo depende del contenido de amilosa, sino que el poder de hinchamiento también está determinado por la temperatura de gelatinización, el tamaño del gránulo, por la red micelar, la organización supramolecular de los componentes del almidón

y la estructura molecular de la amilopectina. Inclusive Peña (2017) menciona que debido a la complejidad que posee el almidón, el poder de hinchamiento no puede ser referido simplemente al contenido de amilosa.

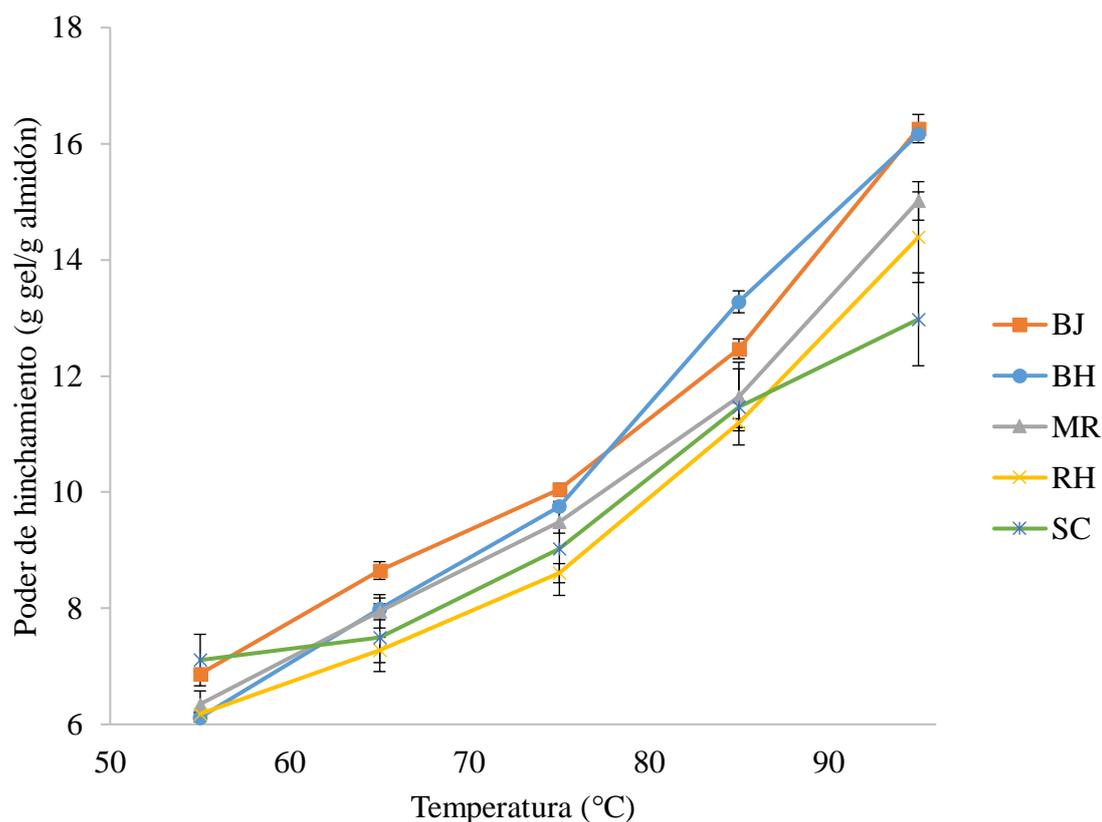
**Tabla 15: Poder de hinchamiento (PH) y solubilidad (S) de los almidones de quinua**

Temperatura (°C)	Almidón de quinua *	PH (g/g)	S (%)
55	BH	6.12 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.20 <sup>a</sup>
	BJ	6.87 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.76 ± 0.11 <sup>a</sup>
	MR	6.35 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.04 <sup>a</sup>
	RH	6.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.14 <sup>a</sup>
	SC	7.11 ± 0.44 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.54 <sup>a</sup>
65	BH	7.99 ± 0.19 <sup>b</sup>	2.82 ± 0.15 <sup>c</sup>
	BJ	8.65 ± 0.15 <sup>c</sup>	2.55 ± 0.30 <sup>bc</sup>
	MR	7.95 ± 0.29 <sup>b</sup>	2.20 ± 0.19 <sup>ab</sup>
	RH	7.28 ± 0.22 <sup>a</sup>	1.90 ± 0.09 <sup>a</sup>
	SC	7.49 ± 0.58 <sup>ab</sup>	2.27 ± 0.46 <sup>ab</sup>
75	BH	9.76 ± 0.04 <sup>c</sup>	3.44 ± 0.24 <sup>a</sup>
	BJ	10,04 ± 0.11 <sup>c</sup>	2.92 ± 0.26 <sup>a</sup>
	MR	9.49 ± 0.20 <sup>bc</sup>	2.84 ± 0.27 <sup>a</sup>
	RH	8.60 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.33 ± 0.16 <sup>a</sup>
	SC	9.03 ± 0.81 <sup>ab</sup>	3.12 ± 0.7 <sup>a</sup>
85	BH	13.28 ± 0.19 <sup>c</sup>	6.80 ± 0.22 <sup>d</sup>
	BJ	12,47 ± 0.17 <sup>b</sup>	5.63 ± 0.39 <sup>c</sup>
	MR	11.65 ± 0.59 <sup>a</sup>	4.41 ± 0.41 <sup>b</sup>
	RH	11.19 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.09 ± 0.21 <sup>a</sup>
	SC	11.47 ± 0.66 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.63 <sup>b</sup>
95	BH	16.16 ± 0.07 <sup>c</sup>	ND
	BJ	16.26 ± 0.24 <sup>c</sup>	9.35 ± 0.74 <sup>b</sup>
	MR	15.02 ± 0.33 <sup>b</sup>	9.95 ± 0.72 <sup>b</sup>
	RH	14.39 ± 0.42 <sup>b</sup>	6.15 ± 0.66 <sup>a</sup>
	SC	12.98 ± 0,80 <sup>a</sup>	6.74 ± 0.72 <sup>a</sup>

ND: No determinado

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maragani; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca



**Figura 7: Poder de hinchamiento de los almidones de quinua**

Los resultados del poder de hinchamiento en las variedades estudiadas fueron mayores a los reportados por Ahamed *et al.* (1996) pero menores a los obtenidos por Lindeboom *et al.*, (2005) y Li *et al.* (2016) en almidones de quinua; quienes obtuvieron valores entre 16 y 52 g/g a 95°C. Sin embargo, en el intervalo de 75 a 95°C los valores de poder de hinchamiento de los almidones evaluados fueron cercanos a los señalados por Jan *et al.* (2017a) y Lorenz (1990).

Al igual que el poder de hinchamiento, progresivamente aumenta la solubilidad conforme se incrementa la temperatura en la que se calienta la solución de almidón (1.47–2.03% a 55°C y 6.15–9.95% a 95°C) (Tabla 15). En todas las temperaturas evaluadas la variedad Rosada de Huancayo fue la que presentó los menores valores de solubilidad (desde 1.47% hasta 6.74%). Los mayores valores de solubilidad se registraron a 95°C, siendo la variedad Amarillo de Maranganí la que obtuvo el mayor valor (9.95%). Este incremento en la solubilidad podría atribuirse al mayor contenido de amilosa de esta variedad (Tabla 14), debido a que el calentamiento del gránulo de almidón en exceso de agua genera la ruptura de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, dando como

consecuencia la exudación y solubilización de la amilosa a medida que se da el hinchamiento del gránulo (Bou *et al.*, 2006; Hoover y Ratnayake, 2001). Es por ello que algunos autores señalan una correlación entre el contenido de amilosa y la solubilidad. En almidones de quinua, Lindeboom *et al.* (2005) a 95°C encontraron una correlación positiva entre estas características. En el presente estudio no se puede afirmar correlación alguna entre estos factores. Debido a que la variedad INIA-427 Amarillo Sacaca al presentar uno de los mayores contenidos de amilosa debió presentar un alto valor de solubilidad; sin embargo, obtuvo valores bajos a 95°C en comparación con otras variedades. Además, al igual que el poder de hinchamiento, la solubilidad también está influenciada por las características de la amilosa y la amilopectina, tales como: el grado de ramificación, la distribución del peso molecular, longitud de las cadenas y conformación de las moléculas (Alemán, 2012, citado por Robles, 2012).

Asimismo, en la Tabla 15 se observa que los valores de solubilidad de los almidones evaluados son bajos en las temperaturas iniciales y luego incrementan considerablemente a temperaturas mayores a 85°C. Huang *et al.* (2015), quienes obtuvieron una tendencia similar en almidones de fuentes no convencionales, mencionan que antes de la gelatinización el poder de hinchamiento y solubilidad en agua aumentan ligeramente con el incremento de la temperatura y después de la gelatinización, aumentan rápidamente.

Por otro lado, los valores de solubilidad a 95°C del almidón de la variedad Blanca de Hualhuas no fueron determinados debido a que a esa temperatura se formó un gel superior que no permitió la medida del agua libre. Situación similar fue informada por Lindeboom *et al.* (2005) y Meaño *et al.* (2014), quienes no presentaron valores de solubilidad a temperaturas altas para almidones de quinua y ñame, respectivamente.

En estudios anteriores en almidones de quinua se reportaron valores mayores de solubilidad, los cuales oscilaron entre 21.6 y 75.7 por ciento a 85°C (Li *et al.*, 2016). Sin embargo, los resultados obtenidos son similares a los reportados por Lindeboom *et al.* (2005) y Jan *et al.* (2017a) para almidones de quinua cultivadas en Canadá y almidones de quinua cultivadas en India, respectivamente. En términos generales los valores obtenidos son bajos al compararlos con almidones de maíz, que tiene una solubilidad de 24 por ciento a 95°C.

Perez-Rea y Antezana-Gomez (2018) indican que la baja solubilidad es probablemente debido a las fuertes fuerzas de unión entre los polímeros del almidón de quinua.

Jan *et al.* (2017a) indican que el limitado poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones puede deberse a las cadenas lineales; por su parte. Bao y Bergman (2004) atribuyen los valores bajos en solubilidad al grado de polimerización. Un alto grado de polimerización de las moléculas podría tener una menor tendencia a lixiviar la amilosa del gránulo durante el calentamiento o podría atrapar otras moléculas. Además, esos autores mencionan que el poder de hinchamiento es inversamente proporcional a la rigidez de los gránulos, por lo que un menor poder de hinchamiento sugiere una estructura granular más rígida. Esta característica es deseable para la fabricación de fideos a partir de almidones evaluados, debido al limitado PH de estos (Bao y Bergman, 2004).

Las diferencias en los valores del poder de hinchamiento y la solubilidad con respecto a los reportados en la literatura, pueden deberse a las condiciones experimentales de la metodología, como la velocidad de centrifugación, y la forma de muestrear el sobrenadante y las fracciones de sedimentos (Li *et al.*, 2016). Además, el incremento de la solubilidad podría deberse a un tiempo de mantenimiento prolongado, y a un tratamiento mecánico severo; lo que cambiará la naturaleza del material solubilizado (Perez-Rea y Antezana-Gomez, 2018)

#### **4.4.2. CLARIDAD DE GELES DE ALMIDÓN**

Se evaluó la claridad en los almidones de quinua obtenidos, debido a que es un factor importante para determinar el uso o aplicación de los almidones en la industria alimentaria puesto que pueden otorgar opacidad o brillantez al producto final (Vargas *et al.*, 2016). La claridad de una pasta de almidón está estrechamente relacionada con la extensión de la luz que puede atravesar en el material y puede medirse cuantitativamente a través de la transmitancia, utilizando un espectrofotómetro (Craig *et al.*, 1989, citado por Hsieh *et al.* 2019). En la Tabla 16 se presentan los valores de transmitancia obtenidos en los geles de almidones de quinua evaluados, los que mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 20).

**Tabla 16: Transmitancia de los geles de almidón quinua a 4°C**

Almidón	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
Blanca Hualhas	2.07 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.00 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.97 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.93 ± 0.12 <sup>bc</sup>	1.90 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.87 ± 0.06 <sup>bc</sup>
Blanca de Junín	2.23 ± 0.21 <sup>b</sup>	2.10 ± 0.17 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.21 <sup>b</sup>	2.07 ± 0.15 <sup>c</sup>	2.03 ± 0.21 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.21 <sup>c</sup>
Amarillo de Maraganí	2.17 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.10 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.07 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.97 ± 0.06 <sup>bc</sup>	1.97 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.93 ± 0.12 <sup>bc</sup>
Rosada de Huancayo	1.83 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.63 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.06 <sup>a</sup>
INIA-427 Amarillo Sacaca	2.03 ± 0.15 <sup>ab</sup>	1.90 ± 0.10 <sup>ab</sup>	1.87 ± 0.12 <sup>ab</sup>	1.87 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.83 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.80 ± 0.10 <sup>b</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

Meaño *et al.* (2014) mencionan que las pastas de almidones con una transmitancia menor a 40 por ciento son consideradas opacas o turbias. Debido a que los resultados de esta investigación oscilaron entre 1.80 y 2.23 por ciento, los geles de almidones de quinua obtenidos se consideran opacos. Almidones con este tipo de características pueden ser utilizados en productos con poca transparencia como bebidas concentradas tipo néctar, mayonesa, productos cárnicos o de panificación (Ceavichay y Valenzuela, 2012; Hernández-Medina *et al.*, 2008). Algunos autores también resaltan la naturaleza opaca del almidón gelatinizado para que pueda ser usado en productos alimenticios emulsionados como los aderezos para ensaladas (Quiroga *et al.*, 2014). Por lo tanto, estos almidones evaluados podrían emplearse como insumos para la elaboración de salsas o productos similares.

Asimismo, se observa que hay una ligera caída de la transmitancia conforme pasa los días de almacenamiento. Esto es explicado por Vargas (2015), quien indica que el almacenamiento en frío da lugar a la retrogradación de la amilosa y a las ramificaciones de la amilopectina presentes en un gel de almidón, dando como resultado la formación de compuestos insolubles (cristales de amilosa y amilopectina) los cuales provocan la disminución de la claridad del gel. Además, Jan *et al.* (2017a) mencionan que el aumento de la turbidez puede deberse a la lixiviación de las cadenas de amilosa y amilopectina de las zonas funcionales, dispersando así una cantidad significativa de luz. Jan *et al.* (2017b) informaron la misma tendencia del comportamiento de la claridad y atribuyeron esto a que el almidón de quinua tiene menor tendencia a la retrogradación.

A 0 y 120 h la variedad que obtuvo mayor valor de claridad fue la Blanca de Junín (2.23-2.03), mientras que el menor valor fue para la Rosada de Huancayo (1.83-1.57). Otros estudios en almidones de quinua presentaron valores similares (Fu y Li, 2016; Jan *et al.* 2017b) Comparando con otros almidones como el de maíz o yuca, los cuales en promedio tienen 22.6% y 51.76% respectivamente (Hernández-Medina *et al.*, 2008), los valores de claridad obtenidos en este estudio fueron bajos.

Las variaciones entre los valores de transmitancia pueden deberse a la variación en la cantidad de restos de gránulos hinchados del almidón que refractan la luz en diferente medida y, por lo tanto, dan las imágenes distorsionadas (Craig *et al.*, 1989, citado por Singh *et al.*, 2006). Así mismo, Jan *et al.* (2017b) y Colussi *et al.* (2017) indican que factores como el tamaño del gránulo (gránulos pequeños presentan baja transmitancia), el

hinchamiento del gránulo, la lixiviación de la amilosa y la amilopectina o la longitud de las cadenas de amilosa y amilopectina pueden afectar la turbidez de las pastas de almidón durante el almacenamiento.

#### **4.4.3. SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN**

Se evaluó la estabilidad de los geles de almidón en condiciones de refrigeración y congelación a través de la medición del porcentaje de sinéresis. La sinéresis de los geles preparados a partir de almidones de quinua se midió como la cantidad de agua liberada de los geles durante el almacenamiento. En las Tablas 17 y 18 se presentan los valores de sinéresis durante los 7 días de refrigeración (4°C) y 5 ciclos de congelación-descongelación (-18°C).

En la evaluación de los geles almacenados a 4°C se observó que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 21) en el porcentaje de sinéresis entre las variedades de almidón de quinua en todos los tiempos de almacenamiento evaluados. Hernández-Medina *et al.* (2008) indican que la sinéresis se da como consecuencia de la reorganización de las moléculas del almidón, debido a que cuando una pasta de almidón se enfría se da inicio a la retrogradación (Lindeboom, 2005).

Se presentó un aumento de sinéresis conforme va pasando el tiempo de almacenamiento, lo cual es explicado por Singh *et al.* (2006) y Martínez *et al.* (2017) quienes lo atribuyen a la interacción entre las cadenas ramificadas de amilopectina y la amilosa lixiviada, puesto que produce el desarrollo de zonas de unión que reflejan o dispersan una cantidad significativa de moléculas de agua contenidas en los espacios no ligados. Asimismo, se ha informado que durante las primeras horas del almacenamiento de los geles de almidón en condiciones de refrigeración ocurre la agregación de la amilosa y la cristalización; y en las etapas posteriores se da lo mismo para la amilopectina (Miles *et al.*, 1985 citado por Colussi *et al.*, 2017).

El menor porcentaje de sinéresis en condiciones de refrigeración fue 22.79 por ciento (día 1) y el mayor 29.57 por ciento (día 7); correspondientes a la variedad Rosada de Huancayo. Estudios en almidones de quinua sólo reportan sinéresis en condiciones de congelación-descongelación. Los resultados de sinéresis en refrigeración obtenidos con almidones de

quinua son mayores a los reportados para almidón de arroz (12.56%, día 5) (Martínez *et al.*, 2017) y para almidón de camote (2.17%, día 5) (Hernández-Medina *et al.*, 2008). Singh *et al.* (2006) reportaron valores de sinéresis entre 0.18 y 4.72 por ciento (168 h) para geles de almidón de arroz; mientras que, Peña (2017) reportó 39.48 por ciento (168 h) de sinéresis para geles de almidón de papa nativa.

**Tabla 17: Sinéresis (%) en condiciones de refrigeración (4°C)**

Almidón de quinua *	Sinéresis (%)			
	24 h	72 h	120 h	168 h
BH	25.51 ± 0.49 <sup>c</sup>	26.39 ± 0.46 <sup>bc</sup>	28.73 ± 0.27 <sup>a</sup>	29.39 ± 0.17 <sup>b</sup>
BJ	25.27 ± 0.58 <sup>bc</sup>	27.21 ± 0.48 <sup>c</sup>	27.87 ± 0.82 <sup>a</sup>	29.23 ± 0.23 <sup>b</sup>
MR	24.53 ± 0.31 <sup>b</sup>	25.88 ± 0.85 <sup>ab</sup>	26.91 ± 1.16 <sup>a</sup>	27.40 ± 0.58 <sup>a</sup>
RH	22.79 ± 0.56 <sup>a</sup>	25.15 ± 0.72 <sup>a</sup>	28.71 ± 1.19 <sup>a</sup>	29.57 ± 0.09 <sup>b</sup>
SC	23.10 ± 0.55 <sup>a</sup>	25.08 ± 0.71 <sup>a</sup>	26.60 ± 1.07 <sup>a</sup>	27.94 ± 0.44 <sup>a</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca

Con respecto al porcentaje de sinéresis en congelación, los geles de almidón de quinua presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 21) en todos los ciclos de congelación-descongelación evaluados. Cuando los geles de almidón se congelan, se produce una separación de fases tras el desarrollo de cristales de hielo. Al descongelarse, ocurre la sinéresis porque el agua se puede expulsar fácilmente desde la red densa. Repetir el ciclo de congelación y la descongelación impone la separación de fases y el crecimiento del hielo. A medida que los cristales de hielo se hacen más grandes, la sinéresis y la formación de esponjas ocurren más fácilmente, lo cual explicaría el incremento de la sinéresis conforme aumenta los ciclos de congelación-descongelación. Los geles de almidones de quinua, en estudio, mostraron altos valores de sinéresis desde los primeros ciclos de congelación-descongelación. Sin embargo, el incremento del porcentaje de sinéresis en los ciclos posteriores fue bajo, en comparación con lo reportado por Fu y Li (2016), quienes informaron valores de sinéresis de 10.50 por ciento (ciclo 1) y 33.01 por

ciento (ciclo 3). Se observó que los almidones de las variedades Blanca de Junin, Rosada de Huancayo y INIA-427 Amarillo Sacaca (ciclo 3, ciclo 4 y ciclo 5, respectivamente) presentan una disminución del porcentaje de sinéresis, lo que cambió la tendencia del incremento esperado. Este comportamiento es explicado por Charoenrein *et al.* (2008), quienes atribuyen esta disminución a los cambios que se generan en la estructura del gel, debido a que se va convirtiendo en una estructura similar a una esponja, reabsorbiendo fácilmente el agua liberada si la separación es demasiado lenta.

**Tabla 18: Sinéresis (%) en ciclos de congelación-descongelación\***

Almidón de quinua*	%Sinéresis**				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
BH	51.72 ± 1.54 <sup>cd</sup>	52.21 ± 0.47 <sup>d</sup>	52.57 ± 1.75 <sup>cd</sup>	52.00 ± 0.24 <sup>c</sup>	53.18 ± 1.23 <sup>cd</sup>
BJ	45.95 ± 1.43 <sup>a</sup>	46.00 ± 0.41 <sup>a</sup>	46.80 ± 0.98 <sup>a</sup>	47.33 ± 1.39 <sup>a</sup>	48.20 ± 1.56 <sup>a</sup>
MR	48.50 ± 1.82 <sup>b</sup>	49.43 ± 0.66 <sup>b</sup>	49.65 ± 0.17 <sup>b</sup>	50.04 ± 0.68 <sup>b</sup>	50.73 ± 0.96 <sup>b</sup>
RH	53.89 ± 1.30 <sup>d</sup>	53.55 ± 0.87 <sup>e</sup>	53.89 ± 1.56 <sup>d</sup>	54.70 ± 0.41 <sup>d</sup>	54.98 ± 0.32 <sup>d</sup>
SC	50.64 ± 0.20 <sup>bc</sup>	50.86 ± 0.63 <sup>c</sup>	50.56 ± 0.78 <sup>bc</sup>	52.24 ± 0.56 <sup>c</sup>	52.97 ± 0.27 <sup>c</sup>

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca.

\*\*Ciclo 1: 24 h; Ciclo 2: 48 h; Ciclo 3: 72 h, Ciclo 4: 96 h; Ciclo 5: 120 h.

En la Tabla 18 se observa que en el último ciclo el menor valor lo obtuvo la variedad Blanca de Junín (48.20%) y el mayor la Rosada de Huancayo (54.98%). Esto difiere a lo reportado por Lindeboom (2005) y Ahamed (1996), quienes obtuvieron valores menores. Incluso Ahamed (1996) indicó que los almidones de quinua tienen una buena estabilidad en congelación por presentar 12% de sinéresis (ciclo 9). Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación son menores a los reportados por Zhang *et al.* (2019) en almidones nativos de papa, los cuales presentaron valores desde 56.87 por ciento (ciclo 1) hasta 72.36 por ciento (ciclo 7).

Lindeboom *et al.* (2005) reportaron diferencias significativas en la sinéresis entre las variedades de almidones de quinua evaluados; similar comportamiento se observó en esta investigación. Sin embargo, otro factor muy importante a tomar en cuenta es la metodología; debido a que otros investigadores informaron diferentes parámetros en velocidad, tiempo de centrifugado, y cantidad de gel analizado; tal como lo demostraron Charoenrein *et al.* (2008), quienes reportaron dos metodologías de medición de sinéresis. Asimismo, señalan que generalmente los métodos para la medición de sinéresis en congelación-descongelación son muy imprecisos porque se puede producir reabsorción parcial del agua liberada por los geles esponjosos de almidón.

El gel de almidón de la variedad Amarillo de Maranganí presentó los menores valores de sinéresis, tanto en refrigeración como en congelación; por lo que, este almidón presenta mayor resistencia estructural o resistencia de la textura a los cambios de temperatura indeseables producidos durante el congelamiento y descongelamiento (Kumar *et al.*, 2018).

#### **4.4.4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN**

La evaluación de las propiedades térmicas de gelatinización de los almidones de quinua se realizó a través de la calorimetría diferencial de barrido (DSC), la cual es una de las herramientas usualmente utilizadas para evaluar estas propiedades (Li *et al.*, 2013). Por otro lado, Tovar (2008) nos indica que los resultados obtenidos empleando DSC brindan información acerca del orden-desorden de las moléculas dentro del sistema. En la Tabla 19 se presenta las propiedades térmicas de los almidones de quinua evaluados, es decir, las temperaturas inicio ( $T_o$ ), temperatura pico ( $T_p$ ) y temperatura de conclusión ( $T_c$ ) y la entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ).

Los termogramas de los almidones de quinua se presentan en la Figura 8; mientras que, en las Figuras 9, 10, 11, 12, y 13 se presenta individualmente, la reacción endotérmica propia de cada uno de los almidones cuando fueron sometidos al proceso hidrotérmico (Montoya *et al.*, 2014). En las Figuras se observa que los almidones de quinua presentaron un perfil de comportamiento térmico similar; en el que la transición corresponde al proceso de fusión de las dobles hélices de la amilopectina y la pérdida de cristalinidad (Cooke y Gidley, 1992,

citados por Montoya *et al.*, 2014), y el área dentro de la curva ( $\Delta H$ ) refleja el calor necesario para llevar a cabo la gelatinización del almidón (Tovar, 2008).

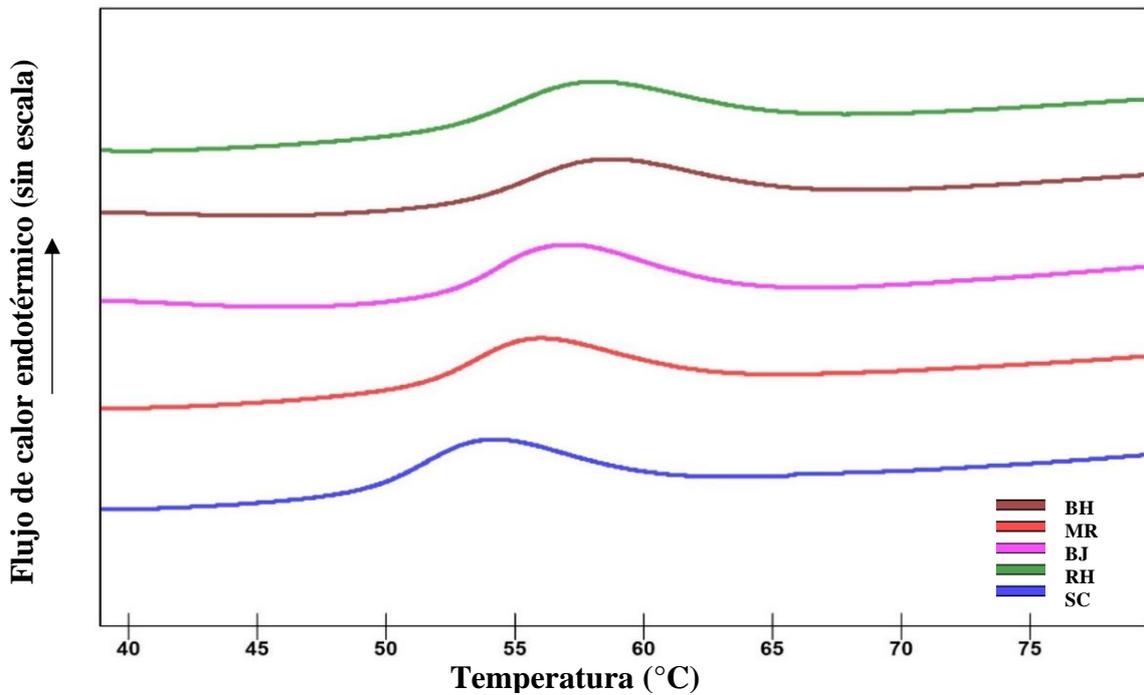
**Tabla 19: Propiedades térmicas de los almidones de quinua determinadas por la calorimetría diferencial de barrido.**

Almidón de quinua**	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	$\Delta H$ (J/g)*
BH	52.35 ± 0.01 <sup>b</sup>	58.04 ± 0.07 <sup>c</sup>	65.51 ± 0.19 <sup>c</sup>	8.02 ± 0.05 <sup>a</sup>
BJ	51.84 ± 0.13 <sup>ab</sup>	56.86 ± 0.08 <sup>b</sup>	63.74 ± 0.08 <sup>b</sup>	8.54 ± 0.06 <sup>a</sup>
MR	51.95 ± 0.33 <sup>b</sup>	56.83 ± 0.36 <sup>b</sup>	64.04 ± 0.53 <sup>b</sup>	8.41 ± 0.51 <sup>a</sup>
RH	51.78 ± 0.53 <sup>b</sup>	58.13 ± 0.16 <sup>c</sup>	66.19 ± 0.42 <sup>c</sup>	8.60 ± 0.83 <sup>a</sup>
SC	51.12 ± 0.02 <sup>a</sup>	56.01 ± 0.09 <sup>a</sup>	62.68 ± 0.16 <sup>a</sup>	7.84 ± 0.65 <sup>a</sup>

\* $\Delta H$  (J/g), entalpía de gelatinización (b.s)

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca.



**Figura 8: Termogramas de los cinco almidones de quinua gelatinizados**

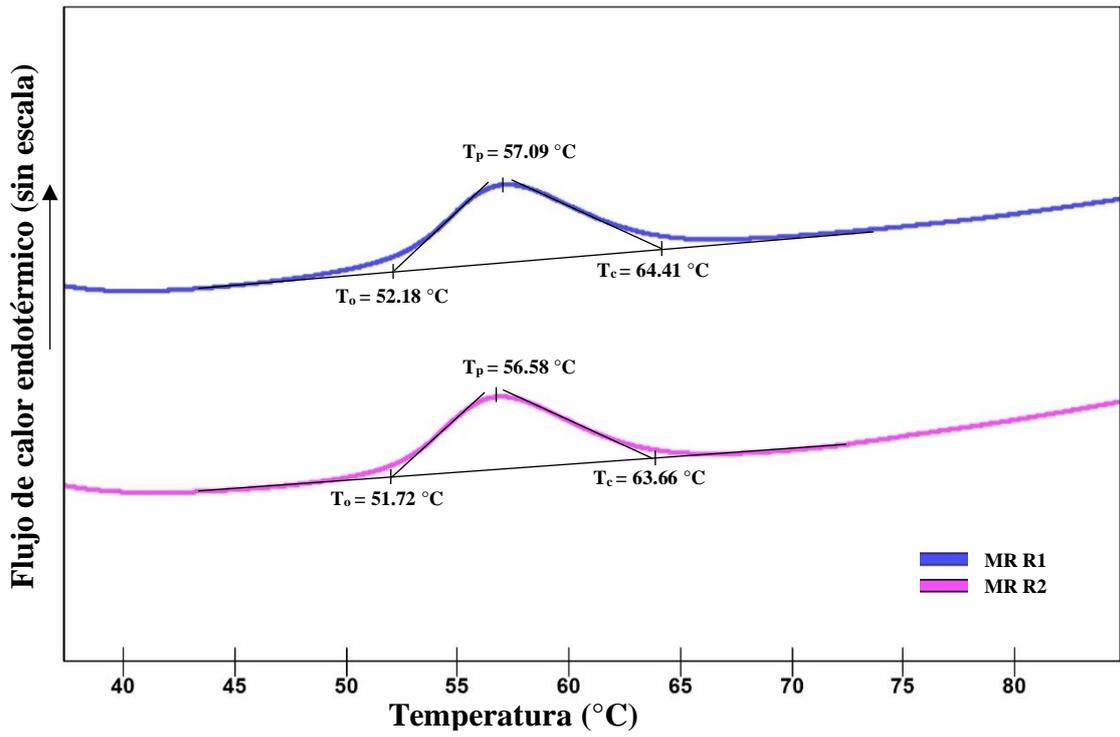


Figura 9: Termograma del almidón de la variedad Maranganí (MR)

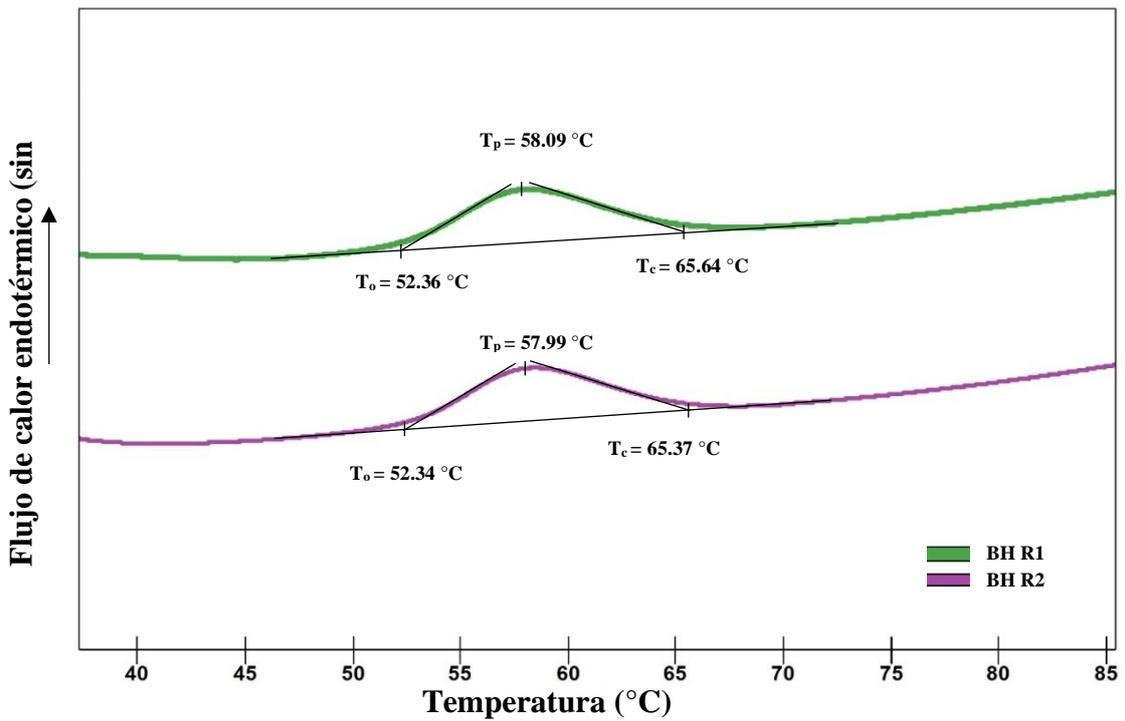


Figura 10: Termograma del almidón de la variedad Blanca de Hualhuas (BH)

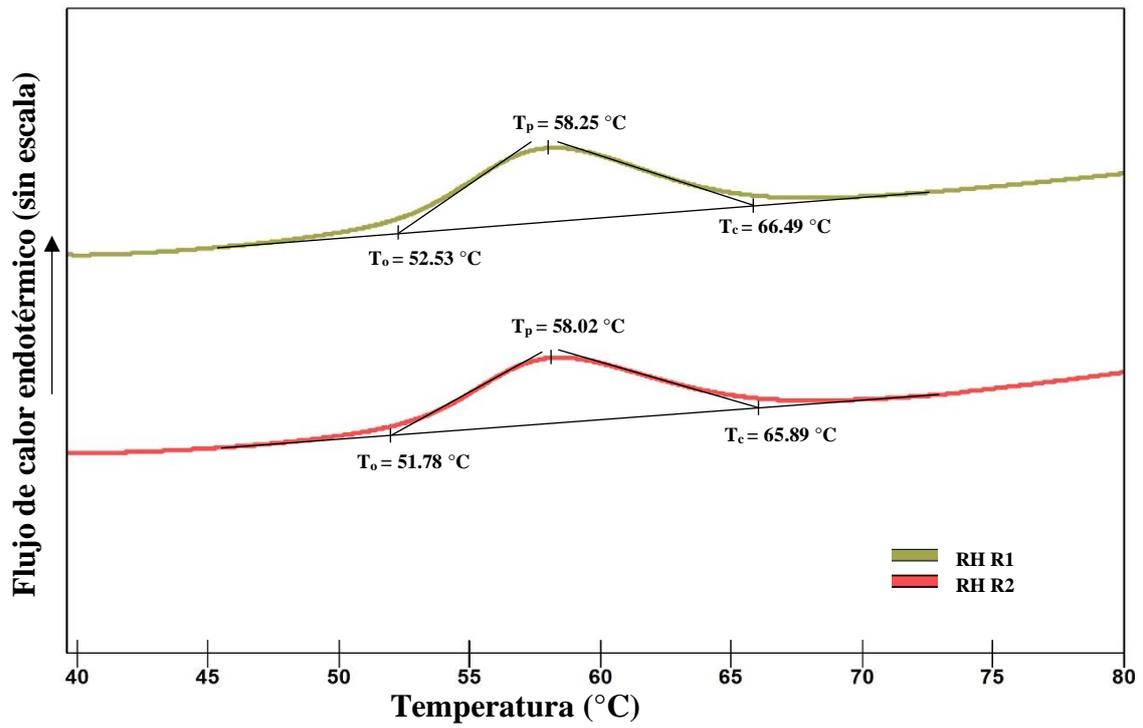


Figura 11: Termograma del almidón de la variedad Rosada de Huancayo (RH)

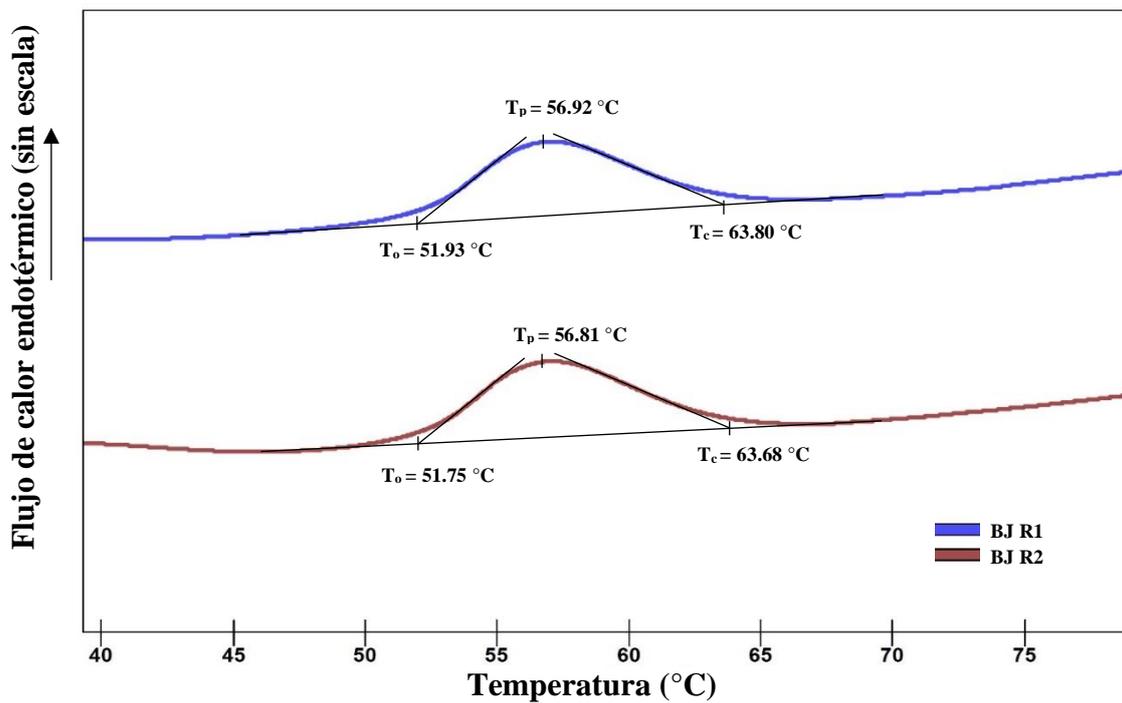
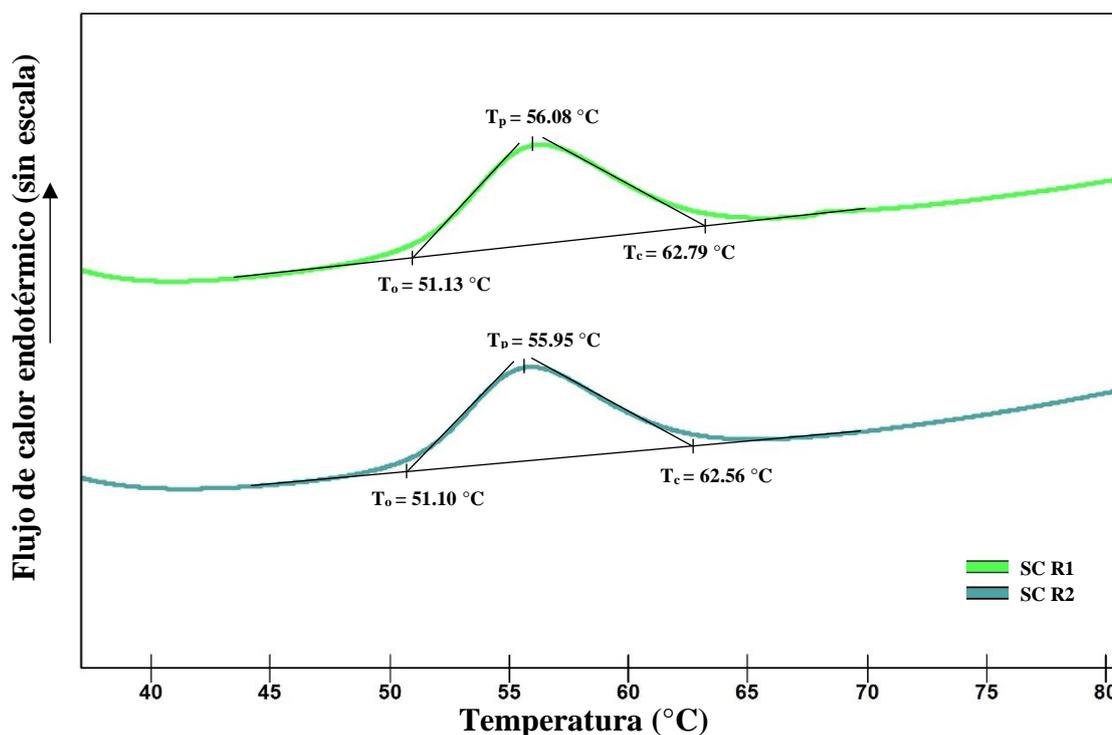


Figura 12: Termograma del almidón de la variedad Blanca de Junín (RJ)



**Figura 13: Termograma del almidón de la variedad Sacaca (SC)**

Li *et al.* (2013) mencionan que la distribución de la temperatura de gelatinización se presenta mediante tres temperaturas de transición ( $T_0$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ) debido a la heterogeneidad del tamaño del almidón y/o la forma de sus gránulos. Las  $T_0$ ,  $T_p$  y  $T_c$  de los almidones de quinua variaron de 52.12 a 52.35°C, de 56.01 a 58.13°C y de 62.68 a 65.51°C, respectivamente. La  $T_0$  determina el inicio del hinchamiento del gránulo de almidón por el ingreso de agua, probablemente en las estructuras amorfas (Pineda-Gómez *et al.*, 2010; Steffolani *et al.*, 2013).

Montoya *et al.* (2014) mencionan que las condiciones climáticas, las semanas de cosecha del cultivo, condiciones genéticas de los frutos, influyen significativamente en las temperaturas de gelatinización; por lo que se puede afirmar que las diferencias obtenidas se puede atribuir a procedencia de la quinua. Los resultados obtenidos para  $T_0$  y  $T_c$  en los almidones Rosada de Huancayo y Blanca de Hualhuas son menores a los informados por Valdez *et al.* (2013) citados por Haros y Schoenlechner (2003) de 62.45-77.54°C y 62.18-75.71°C, respectivamente. Asimismo, las diferencias en las temperaturas de gelatinización se pueden conferir a las diferencias en el contenido de amilosa, el tamaño (los más grandes tienden a hincharse y absorben agua antes que los pequeños), la forma y la distribución de los gránulos de almidón; y que también están influenciadas por el pH y por la presencia de sales (Shujun

*et al.*, citado por Ojeda 2008; Konishi *et al.*, 2006). Con respecto al contenido de sales, los almidones de quinua fueron lavados con agua repetidas veces, después del proceso de neutralización, con la finalidad de eliminar los residuos de sales provenientes de este proceso. Finalmente, se observa que existen diferencias significativas en las temperaturas de gelatinización entre los almidones evaluados ( $p < 0.05$ ) (Anexo 22).

Perez-Rea (2014), citado por Perez-Rea y Antezana-Gomez (2018), en su investigación con almidones de quinua de origen Boliviano obtuvo valores de 51.9, 59.2 y 66.3°C para  $T_o$ ,  $T_p$ , y  $T_c$ , respectivamente; las cuales son muy cercanas a las temperaturas de gelatinización obtenidas en este estudio. Además se encuentran dentro del rango para  $T_o$  (44.6–53.7°C) y  $T_p$  (50.5–61.7 °C) reportado por Lindeboom (2005). Sin embargo, Li *et al.* (2016), Jan *et al.* (2017a) y Steffolani *et al.* (2013) reportaron temperaturas más altas, con valores hasta de 76.98°C para  $T_c$ . Alvani *et al.* (2011) informaron que se debe considerar que la presencia de lípidos aumenta la temperatura de gelatinización; así, Steffolani *et al.* (2013) reportaron valores mayores de  $T_o$ ,  $T_p$ , y  $T_c$ , pero los almidones que presentaron alto contenido de grasa (1.94–2.56 %).

Li *et al.* (2016) indican que las bajas temperaturas de gelatinización del almidón de quinua pueden ser debido a la composición y la estructuras de sus moléculas (amilosa y amilopectina), la composición y concentración de los componentes menores y la arquitectura granular. Asimismo, Perez-Rea y Antezana-Gomez (2018) indican que las bajas temperaturas de gelatinización en los almidones de quinua, es atribuido a la estructura de la amilopectina, debido a que tiene muchas cadenas cortas y pocas cadenas largas, dando así lugar a que estas moléculas formen una estructura de un cluster inestable y una red cristalina; por lo que su temperatura de fusión es más baja. Por su parte, Steffolani *et al.* (2013) indican que cadenas cortas requieren menos temperatura que las largas, para su completa disociación; lo que podría explicar las bajas temperaturas de gelatinización presentadas por el almidón INIA-427 Amarillo Sacaca.

Otro factor que se evaluó fue la entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ), debido a que nos brinda una medida general de la cristalinidad (cantidad, calidad y arquitectura molecular de la región cristalina), y se considera un indicador de la pérdida de orden molecular (Alvani *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2006; Steffolani *et al.*, 2013). Así, los valores de entalpía de los almidones de

quinua evaluados oscilaron entre 7.84 y 8.60 J/g, y no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 22).

Los valores de  $\Delta H$  (7.84–8.60 J/g) para los almidones de quinua en estudio son similares a los reportados por Steffanoli *et al.* (2013); sin embargo, son mayores a los informados por Jan *et al.* (2017a) (4.34–5.10 J/g), pero menores a los reportados por Díaz (2016), Lindeboom *et al.* (2005) y Li *et al.* (2016) (10.3– 15.0 J/g). Jan *et al.* (2017a) sostienen que el contenido de amilosa está relacionado con el valor de entalpía en forma directa; sin embargo, Tao *et al.* (2018) indican que las diferencias en las propiedades térmicas de los almidones no sólo se pueden atribuir al contenido de amilosa, sino que también hay otros factores a tomar en cuenta como las estructuras moleculares de amilosa/amilopectina y los complejos de lípidos-amilosa. Ahmed *et al.* (2018) sostienen que la diferencia en la entalpía de gelatinización está influenciada por la energía requerida para la fusión de los cristalitas, que implica la ruptura o rotura de los enlaces de hidrógeno intrahelical, que varía de un almidón a otro. Por su parte, Li y Zhu (2018a) mencionan que, en los almidones de quinua, las temperaturas de gelatinización y  $\Delta H$  se correlacionan estrechamente con la estructura fina de la amilopectina. Asimismo, señala que la  $\Delta H$  del almidón de quinua es inferior a la del almidón de amaranto, maíz y adzuki, pero es similar a la del almidón de kañiwa y de sorgo, y es más alta que la del almidón de cebada y trigo.

El almidón de la variedad Rosada de Huancayo presentó los mayores valores de  $T_p$ ,  $T_c$  y  $\Delta H$ , aunque presentó un bajo contenido de amilosa (19.4%), esto se puede explicar porque los parámetros presentados en el termograma (temperaturas de gelatinización y entalpía) están influenciados por la arquitectura molecular de la región cristalina, la cual corresponde a la asociación y distribución de las cadenas cortas de amilopectina, más no a la proporción de la región cristalina que corresponde a la relación amilosa/amilopectina (Alvani *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2007). Además, una alta cristalinidad genera estabilidad estructural, haciendo que los gránulos de almidón sean más resistentes a la gelatinización y por consiguiente demandan mayores temperaturas de gelatinización que los componentes amorfos (Peña, 2017).

Otro factor para considerar al realizar las comparaciones es la metodología usada, lo cual puede explicar las diferencias con otras investigaciones. Díaz (2016) recomienda que la

comparación de los resultados se debe realizar cuando las condiciones del análisis sean similares, principalmente la proporción de almidón: agua y la tasa de calentamiento ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ), pues, las mismas influyen los parámetros evaluados. Una alta velocidad de calentamiento puede producir una baja entalpía de gelatinización a causa de la falta de tiempo para la transferencia de agua dentro de los gránulos (Peña, 2017). Así, Tang *et al.* (2002) y Díaz (2016) utilizaron velocidades de calentamiento más altas de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  y  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , respectivamente, para almidones de quinua. Montoya *et al.* (2014) mencionan que las temperaturas de gelatinización son dependientes del contenido acuoso, de forma que disminuyen a medida que se incrementa la cantidad de agua; asimismo, Pineda-Gómez *et al.* (2010) en su investigación con almidones de maíz mostraron que la entalpía de gelatinización es influenciada significativamente por la cantidad de agua.

Hernández-Medina *et al.* (2008) reportaron valores de  $T_p$  para almidones de camote y yuca similares a los obtenidos en este estudio, y recomiendan que este tipo de almidones pueden emplearse en la elaboración de productos que no requieren altas temperaturas, tales como natillas o pudines; la cual podría ser una posible aplicación para los almidones de quinua evaluados.

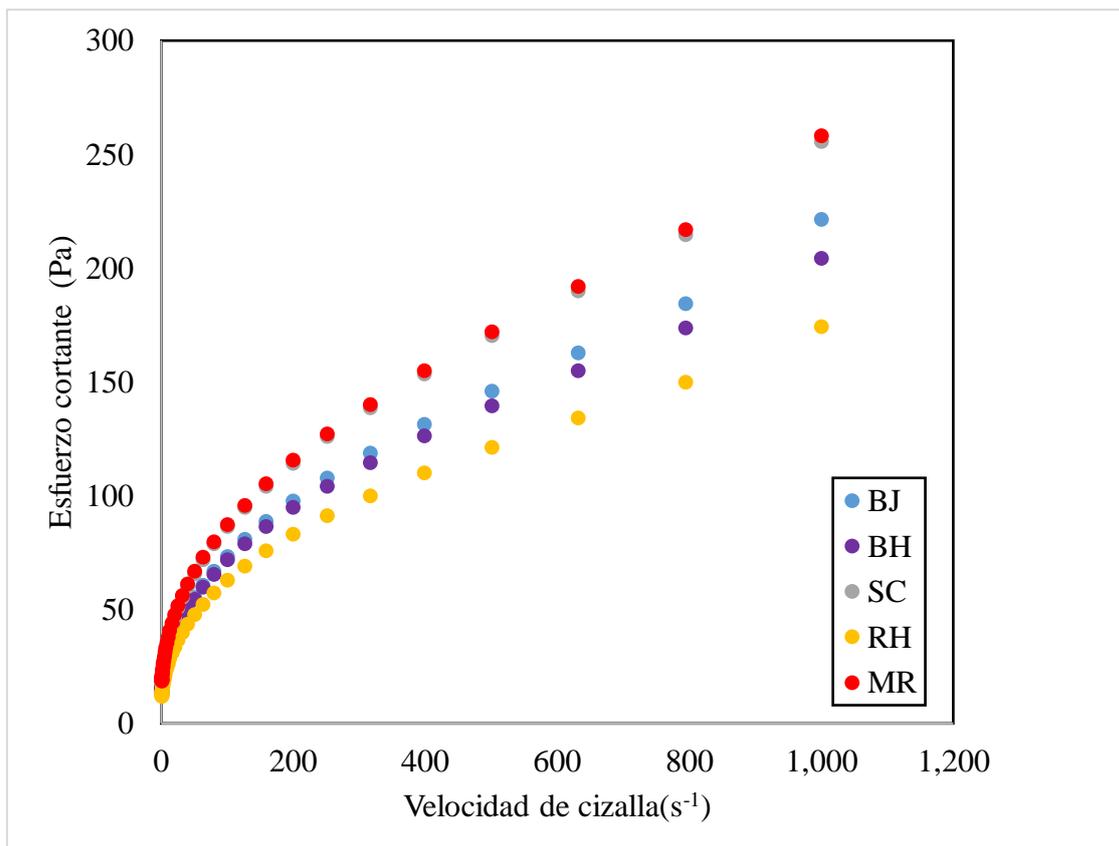
#### **4.4.5. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS GELES DE ALMIDÓN**

##### **a. Comportamiento de flujo**

En la Figura 14 se presentan los reogramas de las pastas de almidón de quinua a  $25^{\circ}\text{C}$ . Zhong y Daubert (2013) mencionan que se han generado varios modelos para establecer una relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte y para describir a los fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Además, Li y Zhu (2018c) indican que entre los modelos que describen eficientemente los comportamientos de flujo de los geles de almidón de quinua se encuentran: el modelo de Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk, Robertson-Stiff y Heinz Casson. En este estudio, el comportamiento del flujo de cada pasta de almidón evaluado fue ajustado al modelo de Herschel-Bulkley, presentando altos coeficientes de determinación ( $R^2 = 0.97\text{--}0.98$ ).

Zhong y Daubert (2013) mencionan que los fluidos se clasifican de acuerdo con la magnitud de  $\sigma_0$ ,  $K$  y  $\eta$ . Los parámetros obtenidos del modelo de Herschel-Bulkley ( $\sigma_0$ ,  $K$ ,  $\eta$ ) se presentan en la Tabla 20; asimismo, se observa que no existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexo 23) para los valores de  $\sigma_0$ ,  $K$  con excepción del índice reológico ( $\eta$ ). El valor del índice reológico ( $\eta$ ) en las pastas de almidón de quinua variaron entre 0.49 a 0.52, que son mayores a los reportados por Li y Zhu (2018a) para almidones de quinua ( $\eta=0.38$ ); pero cercanos a los indicados por Kong *et al.* (2010), quienes utilizando la misma metodología en almidones de amaranto obtuvieron valores de  $\eta$  desde 0.43 hasta 0.63. Al respecto, Albano *et al.* (2014) realizaron comparaciones con parámetros de análisis similares, encontrando que el tamaño del *gap*, la temperatura de la pasta y la concentración de almidón influyen sobre los valores de  $K$  y  $\eta$ . Por otro lado, debido a que el valor de  $\eta$  es menor a 1, las pastas de almidón de quinua analizados presentan un comportamiento no Newtoniano de naturaleza pseudoplástica (Lee y Chang, 2015; Zhu y Xie, 2018). Bhandari *et al.* (2002), citados por Velásquez-Barreto y Velezmoro (2018), indican que este comportamiento pseudoplástico de la pasta de almidón puede deberse al mecanismo de rompimiento de la estructura de la pasta durante la cizalladura; puesto que a altas velocidades de cizalla, la velocidad de rompimiento de la pasta es mayor que el reordenamiento de las moléculas de almidón. Peña (2017) señala que hay una disminución de la pseudoplasticidad a medida que aumenta del índice reológico ( $\eta$ ), por lo que el almidón Rosada de Huancayo es el que presentó el comportamiento más pseudoplástico al presentar menor valor de  $\eta$ .

Según Cárcamo (2005), el coeficiente de consistencia ( $K$ ) es una constante de proporcionalidad entre la relación de deformación y el esfuerzo de corte aplicado que la produce. Los mayores valores de  $K$  lo presentaron las pastas de los almidones Amarillo de Maraganí y INIA-427 Amarillo Sacaca con 6.25 y 6.30 Pa·s, respectivamente; que son mayores al reportado por Li y Zhu (2018a) (3.73 Pa·s). Lin *et al.* (2010) indican que el valor de  $K$  del modelo de Herschel-Bulkley también se puede tomar como criterio de viscosidad; además, Li y Zhu (2018a) señalan que el contenido de amilosa influye en el comportamiento de flujo de los geles de almidones de quinua, pues encontraron que los almidones que evaluaron con menor contenido de amilosa mostraron viscosidades más bajas. Este comportamiento fue corroborado en esta investigación para el caso de las pastas de los almidones Blanca de Junín y Rosada de Huancayo, las que presentaron el menor contenido de amilosa y los menores valores de  $K$ .



**Figura 14: Curva de flujo de los geles de almidón de quinua**

**Tabla 20: Parámetros de la ecuación de Herschel-Bulkley que describen el comportamiento del flujo de los geles de almidón**

Almidón de quinua*	$\sigma_0$ (Pa)	$K$ (Pa·s <sup>n</sup> )	$\eta$	$R^2$
SC	$15.81 \pm 1.74^a$	$6.30 \pm 0.25^a$	$0.52 \pm 0.01^b$	$0.98 \pm 0.00$
BJ	$12.26 \pm 0.19^a$	$5.38 \pm 0.13^a$	$0.52 \pm 0.00^b$	$0.97 \pm 0.00$
RH	$9.58 \pm 1.55^a$	$5.62 \pm 0.39^a$	$0.49 \pm 0.01^a$	$0.97 \pm 0.00$
BH	$11.89 \pm 2.5^a$	$5.92 \pm 0.09^a$	$0.50 \pm 0.01^{ab}$	$0.97 \pm 0.00$
MR	$16.72 \pm 2.28^a$	$6.25 \pm 0.29^a$	$0.52 \pm 0.00^b$	$0.98 \pm 0.00$

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maraganí; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca.

El  $\sigma_0$  es conocido como el umbral de fluencia, es definido como el esfuerzo de corte mínimo requerido para iniciar el flujo (Cárcamo, 2005). Además,  $\sigma_0$  indica que hay una estructura reticulada u otra estructura interactiva en el material que debe descomponerse antes de que el flujo pueda ocurrir a una velocidad apreciable (Kong *et al.*, 2010). Li y Zhu (2018c) mencionan que generalmente las muestras tipo gel o dispersiones con alta cantidad de partículas sólidas, suelen presentar un umbral de fluencia. En este estudio, los geles de almidón de quinua presentaron valores de  $\sigma_0$  entre 9.58 (Rosada de Huancayo) y 16.72 (Amarillo de Marangani), que se encuentran dentro del rango reportado por Li y Zhu (2018c) (3.27–39.69) según el modelo de Herschel-Bulkley.

## **b. Comportamiento viscoelástico**

Se evaluaron los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y el de pérdida ( $G''$ ); el primero refleja las propiedades de tipo sólido y la contribución elástica, mientras que el segundo nos indica el carácter líquido y la contribución viscosa (Choi y Chan *et al.*, 2012; citados por Peña, 2017). Estas mediciones se realizaron dentro del zona de viscoelasticidad lineal con los parámetros obtenidos del barrido de amplitud.

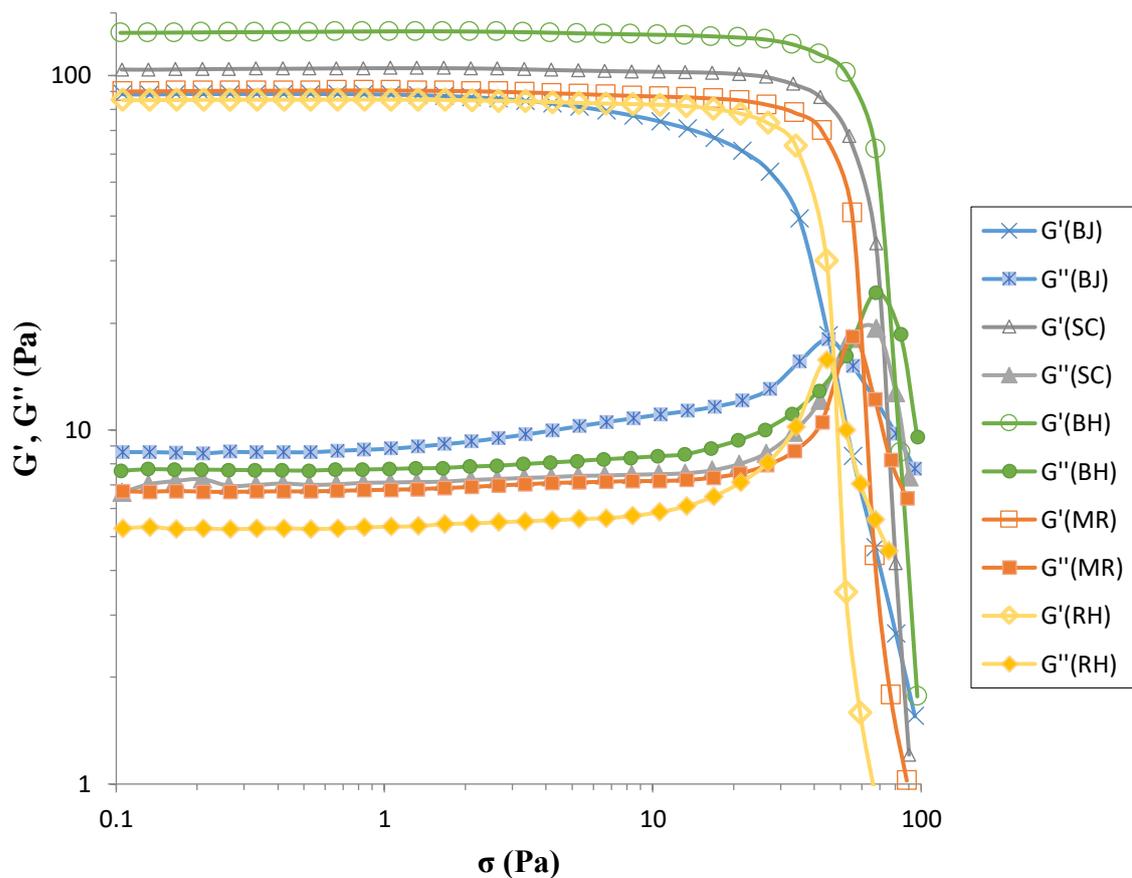
### **b.1. Barrido de amplitud**

Lisi, 2012 y López *et al.* (2010) indican que las pruebas de oscilación evalúan el comportamiento viscoelástico, además que nos permite determinar el intervalo de viscoelasticidad lineal donde la estructura del material no sufre daños. Es por ello que se realiza el barrido de amplitud, con la finalidad de garantizar que las mediciones dinámicas se desarrollen en la región viscoelástica lineal (Yousefi y Razavi, 2015).

Los resultados del barrido de amplitud para los geles de almidones nativos se muestran en la Figura 15. Rao (2013) indica que el límite de linealidad se puede detectar cuando se observa un rápido y significativo cambio de las propiedades reológicas dinámicas ( $G'$  y  $G''$ ) desde sus valores casi constantes. En el barrido de amplitud (Figura 15), es posible discriminar dos regiones diferentes: la región viscoelástica lineal, en donde las  $G'$  y  $G''$  permanecen casi constantes; y el dominio no lineal, en donde el  $G'$  y  $G''$  comenzaron a variar significativamente.

Por otro lado, Yousefi y Razavi (2015). señalan que el barrido de amplitud muestra el esfuerzo máximo que un sistema de gel puede soportar sin que ocurra la ruptura estructural. Los almidones de quinua mostraron un rango de viscoelasticidad lineal entre 0.1 a 5 Pa, que es mayor al reportado por Peña (2017) (0.1–1 Pa) para geles de almidón de papa nativa. Villanueva *et al.* (2018) observaron un comportamiento similar en geles de almidón de arroz, pero en un intervalo de 0.01–1000%, y que las propiedades dinámicas ( $G'$  y  $G''$ ) se intersectan es cuando el valor de  $\tan \delta$  es 1.

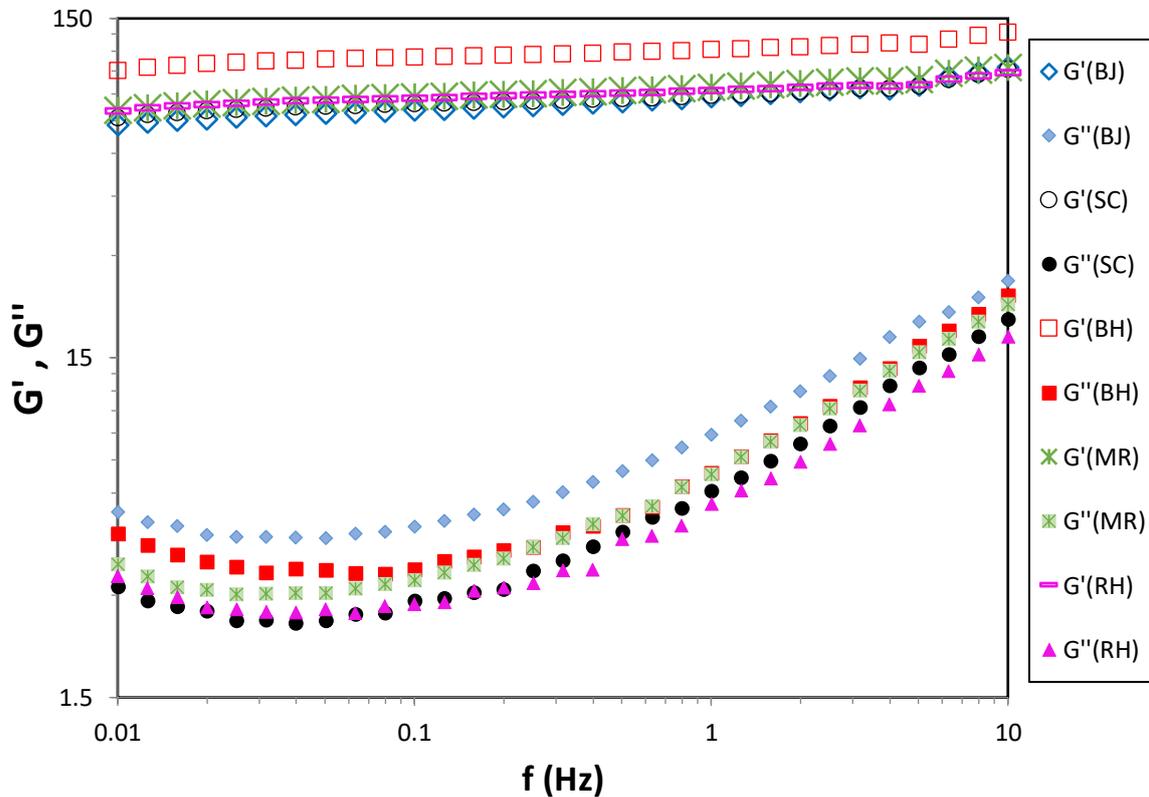
De acuerdo con López *et al.* (2010) los almidones de quinua evaluados podrían ser incorporados en la formulación de productos que requieren condiciones de procesamiento drástico puesto que su resistencia a la deformación es alta. Así, los geles de almidón de quinua que presentaron la mayor y la menor resistencia a la deformación fueron Blanca de Hualhuas y Blanca de Junin, respectivamente.



**Figura 15: Barrido de amplitud para los geles de almidones nativos**

## b.2. Barrido de frecuencia:

Según Ortega (2008), las mediciones de barrido de frecuencia se realizan para determinar cómo varían los módulos estructurales ( $G'$  y  $G''$ ) con respecto a cambios de frecuencia. En la Figura 16 se presenta la variación del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ) con la frecuencia para los geles de los almidones de quinua. Asimismo, se observa que en todos los geles el  $G'$  fue mayor que el  $G''$  ( $G' > G''$ ), lo que significa que predominó el carácter elástico sobre el viscoso, el cual es un comportamiento propio de los almidones (Piña, 2001, citado por Ortega, 2008). Similares tendencias fueron informadas por Li y Zhu (2018c), Ahmed *et al.* (2018) y Ortega (2008) para los geles de almidones de quinua.



**Figura 16: Barrido de frecuencia de los almidones nativos, que muestra la variación de módulo de almacenamiento ( $G'$ ), módulo de pérdida ( $G''$ ) con la frecuencia**

El mayor valor de  $G'$  presentado por el gel del almidón Blanca de Hualhuas, mostró que gel fue más estructurado y elástico. Según Case *et al.* (1998 citado por Assad-Bustillos *et al.*,

2014), el  $G'$  está positivamente correlacionado con el contenido de amilosa y la masa molecular; sin embargo, este comportamiento no se observó en los geles de quinua evaluados, pues el gel del almidón Blanca de Hualhuas no presentó el mayor contenido de amilosa (Tabla 14). Al respecto, Casarrubias-Castillo *et al.* (2012) no encontraron relación entre el contenido de amilosa y las pruebas reológicas de los geles de almidón, pero señalan que a pesar de que el porcentaje de amilosa afecta la formación de la red tridimensional, el contenido de amilopectina en los gránulos de almidón hinchados también es importante.

Por otro lado, Rao (2013) clasifica a los geles en fuertes o débiles. En el caso de los geles fuertes,  $G'$  es más alto que  $G''$  en todo el rango de frecuencia y es casi independiente de la frecuencia; mientras que, en los geles débiles existe una mayor dependencia de la frecuencia para los módulos dinámicos. Los geles de almidón de quinua evaluados pueden ser catalogados como fuertes, pues el  $G'$  permaneció casi constante en el rango de frecuencia oscilatoria evaluada (0.01-10 Hz).

En la Tabla 21 se muestran los valores de las pendientes ( $n'$  y  $n''$ ) e interceptos ( $k'$  y  $k''$ ) obtenidos después de ajustar los valores a la ecuación de ley de potencia, los cuales describen las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón de quinua. Asimismo, se observa que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los parámetros de viscoelasticidad (Anexo 23). Según Peña (2017), los valores de  $n'$  y  $n''$  representan la susceptibilidad de los módulos  $G'$  y  $G''$  a los cambios en función a la frecuencia angular, lo cual explica por qué los valores de  $n'$  son menores que los de  $n''$ , pues como se observa en la Figura 16, el  $G'$  es poco afectado por el cambio de frecuencia. Los valores de  $n'$  se encontraron dentro del rango de 0,03 (Blanca de Hualhuas y Rosada de Huancayo) a 0.05 (Blanca de Junin) y las de  $n''$  entre 0.36 (BJ) a 0.44 (SC). Según Li y Zhu (2018c), los bajos valores de  $n'$  sugieren que la naturaleza de los geles es fuerte, por lo que reafirma lo que se mencionó anteriormente sobre la naturaleza de los geles evaluados; siendo el BH el más fuerte por presentar el menor valor de  $n'$ . Para el caso de  $k'$  y  $k''$ , cuyos valores oscilaron entre 89.60 (Blanca de Hualhuas) a 122.38 (Blanca de Hualhuas) y 6,31 (Rosada de Huancayo) a 10,27 (Blanca de Junin), respectivamente. Del Valle (2009) indica que los valores de  $k'$  y  $k''$ , representan las magnitudes de  $G'$  y  $G''$  a una frecuencia dada. Esto explica por qué los valores de  $k'$  son mayores, pues como se mencionó anteriormente se cumple que  $G' > G''$  en todos los geles de

almidón en estudio. El gel de la variedad Blanca de Hualhuas al presentar el mayor valor de  $G'$  fue el que presentó el mayor valor de  $k'$ .

En los almidones de quinua evaluados, los valores de las pendientes  $n'$  y  $n''$  se encuentran dentro del rango reportado por Li y Zhu (2018c) de 0.0123–0.0519 y 0.192–0.443, respectivamente; mientras que, los valores de  $k'$  y  $k''$  son mucho menores a los informados de 1909–7395 y 46.4–187.9, respectivamente. Sin embargo, es importante mencionar que estos autores trabajaron con un rango de frecuencia mayor (0.1–40Hz) y con una mayor concentración de almidón (20%).

**Tabla 21: Parámetros de la ecuación de ley de potencia que describen las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón**

Almidón de quinua *	$G'$			$G''$		
	$k'$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n'$	$R^2$	$k''$ (Pa.sn)	$n''$	$R^2$
BJ	89.60 ± 5.12 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.95	10.27 ± 0.26 <sup>c</sup>	0.36 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.86
SC	90.56 ± 4.55 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.92	6.79 ± 0.59 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.87
BH	122.38 ± 3.04 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.96	8.11 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.80
MR	95.03 ± 2.72 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.96	7.77 ± 0.34 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.87
RH	92.87 ± 2.60 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.95	6.31 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.82

Valores promedio ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

\*BH: Blanca Hualhuas; BJ: Blanca de Junín; MR: Amarillo de Maragán; RH: Rosada de Huancayo; SC: INIA-427 Amarillo Sacaca

Al respecto, Lisi (2012) señala que la comparación de las propiedades mecánicas de las pastas de almidón obtenidas con datos reportados por otros autores es muy difícil ya que las mismas dependen de varios factores: concentración de la suspensión de almidón, tiempo y temperatura de almacenamiento, así como también de otras condiciones experimentales. Además, Ahmed *et al.* (2018), al trabajar con diferentes concentraciones de almidón de quinua indica que esta influye sobre los parámetros del barrido de frecuencia ( $k$  y  $n$ ).

## V. CONCLUSIONES

1. El almidón de quinua Rosada de Huancayo presentó el menor rendimiento de extracción (26.77%) y el de la variedad de quinua Blanca de Junín presentó el mayor rendimiento (33.78%). Los almidones de quinua presentaron valores altos de luminosidad (98.79–99.32), bajos contenidos de fibra (0–0.5%), grasa (0–0.11%) y ceniza (0.11–0.49%), y un contenido promedio de amilosa aparente de 19.9%.
2. El almidón de quinua Maranganí presentó menor porcentaje de sinéresis, en refrigeración y en congelación; por lo que este almidón tendría mayor resistencia estructural a los cambios de temperaturas indeseables. Asimismo, los geles de los almidones de quinua evaluados presentaron bajos valores de claridad, por lo que podrían ser usados en productos emulsionados como aderezos para ensaladas.
3. El almidón de quinua Sacaca presentó las menores temperaturas de gelatinización, por lo que podría emplearse en productos que no requieren temperaturas elevadas.
4. Los geles de almidones evaluados presentaron un comportamiento de flujo no newtoniano (pseudoplástico), ajustándose adecuadamente al modelo de Herschel-Bulkley con un umbral de fluencia que varió desde 9.58 (Rosada de Huancayo) y 16.72 (Maranganí). Además, en todos los geles de almidón se observó un predominio del carácter elástico sobre el viscoso ( $G' > G''$ ).

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar ensayos para la optimización del proceso de extracción de almidón de quinua, y determinar la concentración adecuada de hidróxido de sodio para la solubilización de proteínas.
- Evaluar el contenido de almidón total y amilosa en los los almidones de quinua evaluados, empleando ensayos enzimáticos.
- Evaluar la aplicación de estos almidones en matrices alimentarias, como emulsiones Pickering, debido al tamaño del gránulo de almidón.
- Evaluar la posible sinergia entre mezclas con otros biopolímeros, como gomas y almidones de otras fuentes, para potenciar sus propiedades funcionales.
- Modificar física o químicamente estos almidones para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, y así determinar posibles aplicaciones en sistemas alimentarios.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abellán, M., Barnuevo, M., García, C., Contreras, C., Aldeguer, M., Soto, F., Guillén, I., Luque, A., Quinde, F., Martínez, A., & López, F. (2017). Efecto del consumo de quinua (*Chenopodium quinoa*) como coadyuvante en la intervención nutricional en sujetos prediabéticos. *Nutrición Hospitalaria*, 34(5), 1163–1169. doi: 10.20960/nh.843
- Abugoch, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1–31. doi: 10.1016/S1043-4526(09)58001-1
- Ahamed, N. T., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Pal, M. (1996). Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydrate Polymers*, 31(1–2), 99–103.
- Ahmed, J., Thomas, L., Arfat, Y. A., & Joseph, A. (2018). Rheological, structural and functional properties of high-pressure treated quinoa starch in dispersions. *Carbohydrate Polymers*, 197, 649–657. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.05.081
- Ai, Y., & Jane, J.-L. (2018). Understanding Starch Structure and Functionality. In Malin Sjöo & L. Nilsson (Eds.), *Starch in food: Structure, function and applications* (pp. 151–178). Woodhead Publishing.
- Albano, K. M., Franco, C. M. L., & Telis, V. R. N. (2014). Rheological behavior of Peruvian carrot starch gels as affected by temperature and concentration. *Food Hydrocolloids*, 40, 30–43. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.02.003

- Alvani, K., Qi, X., Tester, R. F., & Snape, C. E. (2011). Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, 125(3), 958–965. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.09.088
- Álvarez, C. (2014). Propiedades reológicas de frutos y masas de plátanos procesados por cocción y su relación con la modificación del almidón (Tesis para optar el grado de Doctor en Alimentos, Universidad Nacional del Valle). Recuperada de: <https://docplayer.es/56035247-Propiedades-reologicas-de-frutos-y-masas-de-platanos-procesados-por-coccion-y-su-relacion-con-la-modificacion-del-almidon.html>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19(1), 19–28. doi: 10.4067/s0718-07642008000100004
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. JB Grafic. Recuperada de <http://www.fao.org/3/as890s.pdf>
- Arroyave, L. M., & Esguerra, C. (2006). Utilización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild*) en el proceso de panificación [Universidad de la Salle]. Recuperada de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15521/T43.06A69u.pdf;jsessionid=97B49A83DFD2DE1F73163711E321BE5B?sequence=1>
- Arzapalo, D., & Huaman, K. (2014). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. Universidad Nacional del centro del Perú.
- 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. doi: 10.37761/rsqp.v81i1.9

- Assad-Bustillos, M., Ramírez-Gilly, M., Tecante, A., & Chaires-Martínez, L. (2014). Caracterización reológica, térmica, funcional y fisicoquímica del almidón de semillas de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*). *Agrociencia*, 48(8), 789–803.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4° ed.). Editorial Pearson.
- Bao, J., & Bergman, C. J. (2004). The functionality of rice starch. In A.-C. Eliasson (Ed.), *Starch in food: structure, function and applications* (pp. 258-294.). Woodhead Publishing.
- Bou, L., De Vizcarrondo, C., Rincon, A., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 375–383.
- Cárcamo, L. (2005). Comportamiento Reológico de Pasta de Murta (*Ugni molinae Turcz*) en Estado Fresco y Congelado. Universidad Austral de Chile.
- Casarrubias-Castillo, G., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambriz, L., Sánchez-Rivera, M., & Bello-Pérez, A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46(5), 455–466.
- Ceavichay, K., & Valenzuela, J. (2012). Caracterización física, tecnológica, y reológica de tres variedades de arroz pilado ecuatoriano, cosecha invierno. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cervilla, N., Mufari, J., Calandri, E., & Guzmán, C. (2012). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de *Chenopodium quinoa* Will, cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de Salta. II Jornada de Investigación En Ingeniería Del NEA y Países Límitrofes.
- Chacchi, K. (2009). Demanda de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) a nivel

industrial (Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1642>

Chagua, G., & Palomino, L. (2014). Estudio comparativo de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en quinua (*Chenopodium quinoa*) expandida de tres variedades provenientes del departamento de Junín (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial, Universidad nacional de Centro del Perú). Recuperada de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1938/ChaguaLazo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Charoenrein, S., Tatirat, O., & Muadklay, J. (2008). Use of centrifugation-filtration for determination of syneresis in freeze-thaw starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 143–147. doi: 10.1016/j.carbpol.2007.11.012

Colachagua, C. (2015). Parcelas de comprobación de compuestos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) En dos localidades del valle del Mantaro (Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo, Universidad nacional de Centro del Perú). Recuperada de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/983/COLACHAGUA%20CANALES%20%20CELMIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Colussi, R., Singh, J., Kaur, L., Zavareze, E. da R., Guerra, A., Stewart, R. B., & Singh, H. (2017). Microstructural characteristics and gastro-small intestinal digestion in vitro of potato starch: Effects of refrigerated storage and reheating in microwave. *Food Chemistry*, 226, 171–178. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.01.048

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. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.124982

Del Valle, B. (2009). Estudio del efecto de la congelación sobre las características físicas y químicas de sistemas elaborados con proteínas del suero (Tesis para obtener el grado de doctor en ingeniería química, Universidad Nacional del Litoral). Recuperada de:

<http://hdl.handle.net/11185/131>

- Díaz, A., Dini, C., Viña, S., & García, M. (2016). Starch extraction process coupled to protein recovery from leguminous tuberous roots (*Pachyrhizus ahipa*). *Carbohydrate Polymers*, 152, 231–240. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.004
- Díaz, Yasmine. (2015). Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación de cuatro variedades de *solanum tuberosum* ssp. Andigenum (papa nativa) (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas). Recuperada de: <http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/213/19-2015-EPIA-Diaz Barrera -Determinación de propiedades de variedades de papa nativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, Yemina. (2016). Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) (Tesis para obtener el título de magister en ciencias y tecnología de alimentos) Universidade de São Paulo, Brasil.
- Dufossé, L., Galaup, P., Carlet, E., Flamin, C., & Valla, A. (2005). Spectrocolorimetry in the CIE L\*a\*b\* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses. In *Pigments in Food, more than colour* (Vol. 38). doi: 10.1016/j.foodres.2005.02.013
- Falade, K. O., & Christopher, A. S. (2015). Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 44, 478–490. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.10.005
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Fennema's Food chemistry* (5° ed.). Taylor & Francis Group.
- Flores, R. (2006). Desarrollo de almidones funcionalizados y evaluación de propiedades reológicas para su aplicación en la industria petrolera (Tesis para obtener el título de licenciado en química, Universidad Simón Bolívar). Recuperada de:

<https://docplayer.es/93823073-Desarrollo-de-almidones-funcionalizados-y-evaluacion-de-las-propiedades-reologicas-para-su-aplicacion-en-la-industria-petrolera.html>

Fu, L., & Li, X. (2016). Extraction and gelatinization characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd starch based on ridge analysis. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(18), 299–306.

Gandarillas, A., Rojas, W., Bonifacio, A., & Ojeda, N. (2014). La quinua en Boliva: Perspectiva de la fundación Proinpa. *Estado Del Arte de La Quinua En El Mundo En 2013*. <http://www.fao.org/3/a-i4042s.pdf>

Gani, A., Haq, S. S., Masoodi, F., Broadway, A., & Gani, A. (2010). Physico-chemical, Morphological and pasting properties of starches extracted from water chestnuts (*Trapa natans*) from three lakes of Kashmir, India. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(3), 731–740. doi: 10.1590/S1516-89132010000300030

García, O., Pinzón, M., & Sánchez, L. (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11, 13–21. doi: 10.24054/16927125.v1.n1.2013.382

Gibson, M., Newsham, P., Gibson, M., & Newsham, P. (2018). Rheology. In *Food Science and the Culinary Arts* (pp. 89–103). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-811816-0.00007-5

Haros, C., & Schoenlechner, R. (2003). *Pseudocereals: chemistry and technology*. Editorial John Wiley & Sons. doi: 10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. doi: 10.1590/s0101-20612008000300031

- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2001). Determination of Total Amylose Content Of Starch. In *Handbook of Food Analytical Chemistry*. Editorial John Wiley & Sons. doi: 10.1002/0471709085.ch16
- Hsieh, C.-F., Liu, W., Whaley, J. K., & Shi, Y.-C. (2019). Structure and functional properties of waxy starches. *Food Hydrocolloids*, 94, 238–254. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.03.026
- Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., & Wei, C. (2015). Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 78, 165–172. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.04.006
- Ibarz, A., & Barboza-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- IICA. (2015). El mercado y la producción de quinua en el Perú. Consultado el: 10 enero 2019. Recuperada de: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2652/1/BVE17038730e.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI, 2013). Norma Técnica Peruana, NTP 011.451:2013. Granos andinos. Harina de quinua. Requisitos. (p. 8).
- Inouchi, N., Nishi, K., Tanaka, S., Asai, M., Kawase, Y., Hata, Y., Konishi, Y., Yue, S., & Fuwa, H. (1999). Characterization of amaranth and quinoa starches. *Journal of Applied Glycoscience*, 46(3), 233–240. doi: 10.5458/jag.46.233
- Jan, K. N., Panesar, P. S., Rana, J. C., & Singh, S. (2017a). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 315–322. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027

- Jan, K. N., Panesar, P., & Singh, S. (2017b). Process standardization for isolation of quinoa starch and its characterization in comparison with other starches. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1919–1927. doi: 10.1007/s11694-017-9574-6
- Janampa, C. (2017). Determinación de metabolitos primarios, actividades enzimáticas y características fisico-químicas de la lúcuma (*Pouteria lucuma*) en dos estados fisiológicos (Tesis para obtener el título de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3008>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Guraya, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101(2), 643–651. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.01.054
- Kong, X., Kasapis, S., Bertoft, E., & Corke, H. (2010). Rheological properties of starches from grain amaranth and their relationship to starch structure. *Starch/Starke*, 62(6), 302–308. doi: 10.1002/star.200900235
- Konishi, Y., Arnao, I., & Calixto, M. (2006). Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencia. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 72(1), 12–18.
- Kumar, L., Brennan, M., Zheng, H., & Brennan, C. (2018). The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze-thaw properties and swelling behaviour of oat starch. *Food Chemistry*, 245, 518–524. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.125
- Lawal, O. S., Ogundiran, O. O., Awokoya, K., & Ogunkunle, A. O. (2008). The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers*, 74, 717–724. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.04.039
- Lee, Y., & Chang, Y. H. (2015). Effects of galactomannan addition on rheological, pasting

and physical properties of wáter chesnut starch. *Journal of Texture Studies*, 46(1), 58–66. doi: 10.1111/jtxs.12113

Li, E., Dhital, S., & Hasjim, J. (2013). Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties. *Starch - Stärke*, 66(1–2), 15–27. doi: 10.1002/star.201200224

Li, G., Wang, S., & Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 137, 328–338. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.10.064

Li, G., & Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. *Food Chemistry*, 221, 1560–1568. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.137

Li, G., & Zhu, F. (2018a). Effect of high pressure on rheological and thermal properties of quinoa and maize starches. *Food Chemistry*, 241, 380–386. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.088

Li, G., & Zhu, F. (2018b). Quinoa starch: Structure, properties, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 181, 851–861. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.067

Li, G., & Zhu, F. (2018c). Rheological properties in relation to molecular structure of quinoa starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 767–775. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.03.039

Li, W., Shu, C., Zhang, P., & Shen, Q. (2011). Properties of Starch Separated From Ten Mung Bean Varieties and Seeds Processing Characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 814–821. doi: 10.1007/s11947-010-0421-6

Lin, Q., Liu, Z., Xiao, H., Li, L., Yu, F., & Tian, W. (2010). Studies on the pasting and rheology of rice starch with different protein residual. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 317, pp. 407–419). doi: 10.1007/978-3-642-12220-0\_60

- Lindeboom, N. (2005). Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Tesis para obtener el grado de doctor, University of Saskatchewan). Recuperada de: <https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/SSU/TC-SSU-08152005110823.pdf>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Falk, K. C., & Tyler, R. T. (2005). Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal Chemistry*, 82(2), 216–222. doi: 10.1094/CC-82-0216
- Lisi, M. (2012). Caracterización de almidones de maíz: nativo y modificados (Tesis para obtener el título de magister en tecnología de alimentos, Universidad Católica de Córdoba). Recuperada de: <https://core.ac.uk/download/pdf/47978778.pdf>
- López, O. V, Zaritzky, N. E., & García, M. A. (2010). Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. *Journal of Food Engineering*, 100(1), 160–168. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.03.041
- Lorenz, K. (1990). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch: Physico-chemical Properties and Functional Characteristics. *Starch - Stärke*, 42(3), 81–86. doi: 10.1002/star.19900420302
- Martínez, J., Hernández, J., & Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral. *Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(41), 15–30.
- Martínez, L. (2007). Obtención y caracterización de almidones de malanga, arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su (uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja (Tesis para obtener el título de maestro en ciencias alimentarias, Universidad Veracruzana). Recuperada de: <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46987?show=full>
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad

medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. doi: 10.4206/agrosur.2014.v42n2-07

Mckenna, B. M., & Lyng, J. G. (2013). Principles of food viscosity analysis. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality* (pp. 129–162). Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1533/9780857098856.1.129

Meaño, N., Ciarfella, A., & Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182–187.

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotérmica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (*musa paradisiaca*). *Temas Agrarios*, 19(2), 214. doi: 10.21897/rta.v19i2.736

Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371–376. doi: 10.1016/j.jcs.2016.05.004

Ojeda, M. (2008). Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (*Araucaria araucana*), Papa (*Solanum tuberosum*) y Maíz (*Zea mays* L.) (Tesis para obtener el título de ingeniero en alimentos, Universidad Austral de Chile). Recuperada de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fao.39c/doc/fao.39c.pdf>

Ortega, M. (2008). Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensión de almidón nativo de quinoa (Tesis para obtener el título de magister en ciencias de los alimentos, Universidad de Chile). Recuperada de: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/qf-ortega\\_m/pdfAmont/qf-ortega\\_m.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/qf-ortega_m/pdfAmont/qf-ortega_m.pdf)

Pagno, C., Costa, T., De Menezes, E., Benvenuti, E., Hertz, P., Matte, C., Tosati, J., Monteiro, A., Rios, A., & Flôres, S. H. (2015). Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity. *Food Chemistry*, 173, 755–762. doi:

10.1016/j.foodchem.2014.10.068

- Pajarito, J. (2005). Obtención y caracterización de la harina integral de quinua orgánica (Tesis para obtener el título de ingeniero en alimentos, Universidad de Chile). Recuperada de: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/pajarito\\_j/sources/pajarito\\_j.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/pajarito_j/sources/pajarito_j.pdf)
- Pardo, O., Castañeda, J. C., & Ortiz, C. A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronómica*, 62(4), 289–295.
- Peña, E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno) (Tesis para obtener el título de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperada de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & Ferreira, I. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry*, 280, 110–114. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.12.068
- Perez-Rea, D., & Antezana-Gomez, R. (2018). The Functionality of Pseudocereal Starches. In Woodhead Publishing. (Ed.), *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (2da ed., Vol. 570, pp. 509–542). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-100868-3.00012-3
- Pérez, K. (2019). Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fécula de camote para niños escolares (Tesis para obtener el título de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina).
- Pineda-Gómez, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez García, M.

- (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y Ciencia*, 6(11), 129–141. Recuperada de: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/252>
- Plaza, G. (2017). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidones extraídos de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.), cultivadas en el distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión, departamento de la Libertad (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo). Recuperada de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9779>
- Qian, J., & Kuhn, M. (1999). Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa*. *Starch. Starch/ Stärke*, 51(4), 116–120.
- Quiroga, C., Ramiro, E., Aroni, G., Bonifacio, A., González, J., Villca, M., Saravia, R., & Ruiz, A. (2014). Procesos tradicionales e innovaciones tecnológicas en la cosecha, beneficiado e industrialización de la quinua. In D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Recuperada de: <http://www.fao.org/3/a-i4042s.pdf>
- Quiroga, Carmen. (2018). Starch Interactions With Native and Added Food Components. In M Sjöö & L. Nilsson (Eds.), *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (2<sup>o</sup> ed., pp. 769–801). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-100868-3.00020-2
- Ramos, A. M., & Ibarz, A. (2006). Comportamiento viscoelástico de pulpa de membrillo en función de la concentración de sólidos solubles. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 26(1), 214–219. doi: 10.1590/S0101-20612006000100034
- Rao, M. (2013). *Rheology of fluid, semisolid, and solid Foods* (3era ed.). Springer. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Rayner, M., Timgren, A., Sjöö, M., & Dejmeek, P. (2012). Quinoa starch granules: A candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1841–1847. doi: 10.1002/jsfa.5610

- Ríos, K. (2014). Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca (Tesis para obtener el título de ingeniero alimentos, Universidad tecnológica de la Mixteca). Recuperada de: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/12223.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/12223.pdf)
- Robles, M. del P. (2012). Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé (Tesis para obtener el título de ingeniero en alimentos, Universidad Austral de Chile). Recuperada de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/far666r/doc/far666r.pdf>
- Rosas, G. (2015). Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Bajo dos sistemas de cultivo en la unión-leticia, Tarma (Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperada de: <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2013/06/CATALOGO-FAO.pdf>
- Shaikh, M., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2017). Utilization of chemically modified pearl millet starches in preparation of custards with improved cold storage stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 360–366. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.183
- Singh, N., Kaur, L., Singh, K., Kaur, J., & Nishinari, K. (2006). Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 532–542. doi: 10.1016/j.foodhyd.2005.05.003
- Steffolani, M. E., León, A. E., & Pérez, G. T. (2013). Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch/Starke*, 65, 976–983. doi: 10.1002/star.201200286
- Tang, H., Watanabe, K., & Mitsunaga, T. (2002). Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers*, 49(1), 13–22. doi: 10.1016/S0144-8617(01)00292-2

- Tao, K., Li, C., Yu, W., Gilbert, R. G., & Li, E. (2018). How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 204, 24–31. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.09.078
- Torres, A., Montero, P., & Duran, M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10(2), 52–61.
- Tovar, T. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento (Tesis para obtener el título de licenciado en química de alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Recuperada de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valencia-Chamorro, S. A. (2016). Quinoa: Overview. In C. Wringley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of Food Grains* (pp. 341–348). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00041-3
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. doi: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.09
- Vargas, Guino. (2015). Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (*Solanum tuberosum*), (Var. Única) para su aplicación en un helado soft. (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2179>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2541–2547. doi: 10.1002/jsfa.4158

- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197. doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.02.03
- Vento, R., & Parian, E. (2014). Efecto de la modificación química del almidón nativo de papa (*Solanum tuberosum*), sobre sus características fisicoquímicas y reológicas (Tesis para obtener el título de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperada de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1956>
- Vera, J., Astete, F., & Tacora, R. (2014). Perfil de ácidos grasos en granos de tres cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) sometido a tres tipos de procesamiento. *Revista de Investigación Altoandina*, 16(1), 13–20.
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1–6. doi: 10.1016/j.cofs.2016.11.007
- Villanueva, M., Ronda, F., Moschakis, T., Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2018). Impact of acidification and protein fortification on thermal properties of rice, potato and tapioca starches and rheological behavior of their gels. *Food Hydrocolloids*, 79, 20–29. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.12.022
- Wright, K., Pike, O., Fairbanks, D., & Huber, C. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of Food Science*, 67(4), 1383–1385. doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10294.x
- Yana, S. (2015). Caracterización y determinación de la digestibilidad proteica de quinua insuflada en tres variedades (*Chenopodium quinoa Willd.*). Puno, Perú.
- Yaruro, N. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de Achira (*Canna edulis*) (Tesis para obtener el título de magister en ciencia y tecnología de alimentos, Universidad Nacional de Colombia). Recuperada de: <http://bdigital.unal.edu.co/71417/315/1143232250.2019.pdf>

- Yousefi, A. R., & Razavi, S. M. A. (2015). Dynamic rheological properties of wheat starch gels as affected by chemical modification and concentration. *Starch/Starke*, 67(7–8), 567–576. doi: 10.1002/star.201500005
- Zárate-Polanco, L., Ramírez-Suárez, L., Otálora-Santamaría, N., Prieto, Garnica-Holguín, A., Garnica-Holguín, A., & Argüelles, J. (2016). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, grupo *phureja*). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 1–24. doi: 10.37066/ralap.v18i1.206
- Zhang, C., Lim, S.-T., & Chung, H.-J. (2019). Physical modification of potato starch using mild heating and freezing with minor addition of gums. *Food Hydrocolloids*, 94, 294–303. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.03.027
- Zhong, Q., & Daubert, C. R. (2013). Food Rheology. In *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering* (2da ed., Vol. 1, pp. 403–426). Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-385881-8.00015-X
- Zhu, F. (2015). Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science and Technology*, 43, 129–143. doi: 10.1016/j.tifs.2015.02.003
- Zhu, F., & Xie, Q. (2018). Rheological and thermal properties in relation to molecular structure of New Zealand sweetpotato starch. *Food Hydrocolloids*, 83, 165–172. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.004

## **VIII. ANEXOS**

### **ANEXO 1: PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE AMILOSA**

En la determinación de la proporción de amilosa y amilopectina se siguió el método descrito por Peña (2017).

#### **a. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES**

##### **Solución de Yodo**

Preparar una mezcla de 0,0025 M I<sub>2</sub>/KI 0,0065 M. Para una solución de 100 ml: Disolver 0,1079 g de KI en 5 ml de agua en una fiola de 100 ml. Añadir 0,0315 g I<sub>2</sub>, agitar bien (con la mano) hasta que todo el I<sub>2</sub> se disuelve en el KI. Ajuste el volumen a 100 ml. La solución se debe almacenar en una botella oscura, 4 °C, hasta su uso.

#### **b. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA MEZCLAS DE AMILOSA Y AMILOPECTINA**

Para obtener la curva estándar para mezclas de amilosa y amilopectina, se preparó una serie de mezclas de amilosa y amilopectina de papa pura (con un contenido de amilosa de 0%, 10%, 15%, 20% y 25%) en tubos de ensayo de 15 mL con tapa, como se indica en la Tabla A y se añadirá 8 mL de DMSO al 90% (v/v).

Luego se mezcló vigorosamente durante 2 minutos usando un agitador vortex y se calentó los tubos en un baño de agua a 85°C durante 15 min con mezcla intermitente. Posteriormente, se dejó enfriar los tubos por aproximadamente 45 minutos a temperatura ambiente y se verificó la presencia de geles transparentes en la solución enfriada. Si se detecta un gel, se repiten los pasos del procedimiento, anteriormente mencionado, con una agitación más vigorosa en intervalos de tiempo más cortos en el agitador vortex.

Transcurrido el tiempo se diluyó la muestra con agua destilada en una fiola de 25 ml. Se tomó 1 ml de ésta disolución y sobre ella se añadió 5 ml de solución de  $I_2$  (0.0025 M)–KI (0.0065 M) y se mezcló vigorosamente a mano. A continuación, se ajustó el volumen a 50 ml con agua destilada y se mezcló vigorosamente, luego se dejó en reposo por 15 minutos para el desarrollo del color. Se midió la absorbancia a 600 nm contra un blanco (el blanco contiene todos los reactivos en las mismas cantidades, pero sin muestra). Luego se trazó una curva estándar para las mezclas de amilosa y amilopectina de papa pura y se determinó la ecuación por regresión lineal, finalmente se utilizó esa ecuación para calcular el contenido total de amilosa en los almidones de quinua extraídos.

**Tabla A: Preparación de las mezclas para la curva estándar**

Composición de la mezcla		
% Amilosa	Amilosa (mg)	Amilopectina (mg)
0	0	20
10	2	18
15	3	17
20	4	16
25	5	15
30	6	14

Transcurrido el tiempo se diluyó la muestra con agua destilada en una fiola de 25 ml. Se tomó 1 ml de ésta disolución y sobre ella se añadió 5 ml de solución de  $I_2$  (0.0025 M) – KI (0.0065 M) y se mezcló vigorosamente.

A continuación, se ajustó el volumen a 50 ml con agua destilada y se mezcló vigorosamente y se mantuvo en reposo por 15 minutos para el desarrollo del color. Se midió la absorbancia a 600 nm contra un blanco, siendo este la mezcla de todos los reactivos sin contener la muestra de almidón. Luego se trazó una curva patrón para las mezclas de amilosa y amilopectina de papa puras y se determinó la ecuación por regresión lineal para la curva estándar y se utilizó esa ecuación para calcular el contenido total de amilosa de las muestras.

### **c. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA**

Para realizar el cálculo del contenido de amilosa y amilopectina en las muestras, se pesaron 20 mg de almidón en tubos de ensayo de 15 mL con tapa. Y se realizará el procedimiento de medida mencionado anteriormente.

## **ANEXO 2: COMPORTAMIENTO REOLÓGICO**

Las propiedades reológicas se evaluaron a 25 °C, esta temperatura se controló mediante un sistema Peltier. Cada evaluación reológica se llevó a cabo con nuevas muestras. Para lo cual se preparó una solución de almidón al 4 y 5 por ciento (w/w) (viscoelasticidad y comportamiento de flujo, respectivamente) que se llevó a un baño de agua a 90 °C durante 30 minutos, con agitación constante. El gel se enfrió a 25 °C y se colocó en la placa Peltier del DHR3 aproximadamente 2 ml. Así también, las muestras se mantuvieron en reposo durante 5 minutos antes de empezar cada experimento.

**ANEXO 3: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla B: ANOVA para Humedad por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.71976	4	0.42994	59.38	0.0002
Intra grupos	0.0362	5	0.00724		
Total (Corr.)	1.75596	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	2	12.05	X
Blanca de Hualhuas	2	12.215	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	12.885	X
Blanca de Junín	2	12.955	X
Amarillo Maranganí	2	13.055	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas – Blanca de Junín	*	-0.74	0.218727
Blanca de Hualhuas – Amarillo Maranganí	*	-0.84	0.218727
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.165	0.218727
Blanca de Hualhuas – INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.67	0.218727
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.1	0.218727
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.905	0.218727
Blanca de Junín – INIA -427 Amarillo Sacaca		0.07	0.218727
Amarillo Maranganí – Rosada de Huancayo	*	1.005	0.218727
Amarillo Maranganí – INIA -427 Amarillo Sacaca		0.17	0.218727
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.835	0.218727

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 4: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla E: ANOVA para carbohidratos por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	41.1124	4	10.2781	138.87	0.0000
Intra grupos	0.37005	5	0.07401		
Total (Corr.)	41.4825	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para carbohidratos por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	2	70.725	X
Blanca de Hualhuas	2	72.91	X
Amarillo Maranganí	2	75.35	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	75.85	X
Blanca Junín	2	75.87	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca Junín	*	-2.96	0.699323
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-2.44	0.699323
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	2.185	0.699323
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-2.94	0.699323
Blanca Junín - Amarillo Maranganí		0.52	0.699323
Blanca Junín - Rosada de Huancayo	*	5.145	0.699323
Blanca Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.02	0.699323
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	4.625	0.699323
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.5	0.699323
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-5.125	0.699323

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 5: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNAS DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla C: ANOVA para Proteína por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	17.7171	4	4.42927	120.16	0.0000
Intra grupos	0.1843	5	0.03686		
Total (Corr.)	17.9014	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Proteína por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	2	11.23	X
Blanca de Hualhuas	2	12.835	X
Amarillo Maranganí	2	12.905	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	13.2	X
Rosada de Huancayo	2	15.39	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca Junín	*	1.605	0.493526
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.07	0.493526
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-2.555	0.493526
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.365	0.493526
Blanca Junín - Amarillo Maranganí	*	-1.675	0.493526
Blanca Junín - Rosada de Huancayo	*	-4.16	0.493526
Blanca Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.97	0.493526
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-2.485	0.493526
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.295	0.493526
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.19	0.493526

\* indica una diferencia significativa

**ANEXO 6: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla F: ANOVA para Grasa por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.14074	4	0.535185	18.23	0.0035
Intra grupos	0.14675	5	0.02935		
Total (Corr.)	2.28749	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Grasa por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	4.77	X
Amarillo Maranganí	2	5.015	X
Blanca Junín	2	5.555	X
Rosada de Huancayo	2	5.745	XX
Blanca de Hualhuas	2	6.02	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca Junín	*	0.465	0.440389
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.005	0.440389
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.275	0.440389
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.25	0.440389
Blanca Junín - Amarillo Maranganí	*	0.54	0.440389
Blanca Junín - Rosada de Huancayo		-0.19	0.440389
Blanca Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.785	0.440389
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-0.73	0.440389
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.245	0.440389
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.975	0.440389

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 7: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla G: ANOVA para Fibra por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.3561	4	2.08902	64.92	0.0002
Intra grupos	0.1609	5	0.03218		
Total (Corr.)	8.517	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	2.7	X
Amarillo Maranganí	2	3.2	X
Blanca de Junín	2	3.925	X
Rosada de Huancayo	2	4.595	X
Blanca de Hualhuas	2	5.23	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas – Blanca de Junín	*	1.305	0.461132
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	2.03	0.461132
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.635	0.461132
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.53	0.461132
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.725	0.461132
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-0.67	0.461132
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.225	0.461132
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-1.395	0.461132
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.5	0.461132
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.895	0.461132

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 8: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS DE LAS VARIEDADES DE QUINUA**

**Tabla D: ANOVA para Ceniza por variedad de quinua**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.39496	4	0.09874	470.19	0.0000
Intra grupos	0.00105	5	0.00021		
Total (Corr.)	0.39601	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Ceniza por variedad de quinua**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	2	2.125	X
Rosada de Huancayo	2	2.495	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	2.575	X
Blanca Junín	2	2.655	X
Amarillo Maranganí	2	2.665	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca Junín	*	-0.53	0.0372514
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-0.54	0.0372514
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-0.37	0.0372514
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.45	0.0372514
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.01	0.0372514
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.16	0.0372514
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.08	0.0372514
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.17	0.0372514
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.09	0.0372514
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.08	0.0372514

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 9: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla H: ANOVA para Rendimiento por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	80.7907	4	20.1977	16.63	0.0002
Intra grupos	12.1467	10	1.21467		
Total (Corr.)	92.9373	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	26.7667	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	27.6333	X
Blanca de Hualhuas	3	30.3333	X
Amarillo Maranganí	3	30.5333	X
Blanca de Junín	3	33.3	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	-2.96667	2.00505
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.2	2.00505
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	3.56667	2.00505
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.7	2.00505
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	2.76667	2.00505
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	6.53333	2.00505
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	5.66667	2.00505
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	3.76667	2.00505
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.9	2.00505
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.866667	2.00505

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 10: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla I: ANOVA para Humedad por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.71704	4	0.42926	21.55	0.0024
Intra grupos	0.0996	5	0.01992		
Total (Corr.)	1.81664	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	2	9.495	X
Rosada de Huancayo	2	9.725	X
Blanca de Junín	2	9.775	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	10.455	X
Amarillo Maranganí	2	10.52	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.28	0.362808
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-1.025	0.362808
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.23	0.362808
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.96	0.362808
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.745	0.362808
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		0.05	0.362808
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.68	0.362808
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.795	0.362808
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.065	0.362808
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.73	0.362808

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 11: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla L: ANOVA para carbohidrato por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.00086	4	0.250215	7.79	0.0225
Intra grupos	0.1607	5	0.03214		
Total (Corr.)	1.16156	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para carbohidrato por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	2	97.97	X
Blanca de Junín	2	98.045	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	98.05	X
Amarillo Maranganí	2	98.62	X
Rosada de Huancayo	2	98.705	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.075	0.460846
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-0.65	0.460846
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-0.735	0.460846
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.08	0.460846
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.575	0.460846
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-0.66	0.460846
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.005	0.460846
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.085	0.460846
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.57	0.460846
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.655	0.460846

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 12: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla J: ANOVA para Proteína por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.5252	4	0.1313	8.28	0.0197
Intra grupos	0.07925	5	0.01585		
Total (Corr.)	0.60445	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Proteína por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0.9	X
Rosada de Huancayo	2	1.07	X
Amarillo Maranganí	2	1.08	X
Blanca de Junín	2	1.42	X
Blanca de Hualhuas	2	1.505	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas – Blanca de Junín		0.085	0.323629
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	0.425	0.323629
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.435	0.323629
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.605	0.323629
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.34	0.323629
Blanca Junín - Rosada de Huancayo	*	0.35	0.323629
Blanca Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.52	0.323629
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.01	0.323629
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.18	0.323629
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.17	0.323629

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 13: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE GRASA DE LAS VARIETADES DE ALMIDÓN**

**Tabla M: ANOVA para Grasa por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.01936	4	0.00484		
Intra grupos	0	5	0		
Total (Corr.)	0.01936	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Grasa por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	2	0	X
Blanca de Hualhuas	2	0	X
Rosada de Huancayo	2	0	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0	X
Amarillo Maranganí	2	0.11	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0	0
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-0.11	0
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0	0
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0	0
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.11	0
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		0	0
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0	0
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.11	0
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.11	0
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		0	0

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 14: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE FIBRA DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla N: ANOVA para Fibra por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.38444	4	0.09611	12.24	0.0085
Intra grupos	0.03925	5	0.00785		
Total (Corr.)	0.42369	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	2	0	X
Amarillo Maranganí	2	0	X
Blanca de Junín	2	0.005	X
Blanca de Hualhuas	2	0.04	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0.5	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas – Blanca de Junín		0.035	0.227755
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.04	0.227755
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.04	0.227755
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.46	0.227755
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.005	0.227755
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		0.005	0.227755
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.495	0.227755
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0	0.227755
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.5	0.227755
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.5	0.227755

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 15: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE CENIZA DE LAS VARIEDADES DE ALMIDÓN**

**Tabla K: ANOVA para Ceniza por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.23274	4	0.058185	138.54	0.0000
Intra grupos	0.0021	5	0.00042		
Total (Corr.)	0.23484	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Ceniza por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Amarillo Maranganí	2	0.11	X
Rosada de Huancayo	2	0.155	X
Blanca de Hualhuas	2	0.385	X
Blanca de Junín	2	0.43	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0.49	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas – Blanca de Junín		-0.045	0.0526814
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	0.275	0.0526814
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.23	0.0526814
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.105	0.0526814
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.32	0.0526814
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.275	0.0526814
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.06	0.0526814
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.045	0.0526814
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.38	0.0526814
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.335	0.0526814

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 16: ANOVA Y LSD PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR

**Tabla Ñ.1: ANOVA para el parámetro L\* por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.517107	4	0.129277	4.88	0.0192
Intra grupos	0.264667	10	0.0264667		
Total (Corr.)	0.781773	14			

### Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro L\* por variedad de almidón

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	98.7867	X
Blanca de Junín	3	99.09	X
Amarillo Maranganí	3	99.1333	X
Blanca de Hualhuas	3	99.2667	X
Rosada de Huancayo	3	99.3167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.176667	0.29597
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.133333	0.29597
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.05	0.29597
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.48	0.29597
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.043333	0.29597
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		-0.226667	0.29597
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.303333	0.29597
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.183333	0.29597
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.346667	0.29597
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.53	0.29597

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla N.2: ANOVA para el parámetro a\* por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.05844	4	0.01461	52.18	0.0000
Intra grupos	0.0028	10	0.00028		
Total (Corr.)	0.06124	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro a\* por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	-0.00333333	X
Rosada de Huancayo	3	0.01	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	0.0866667	X
Amarillo Maranganí	3	0.1	X
Blanca de Hualhuas	3	0.166667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	0.17	0.0304422
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	0.066666	0.0304422
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.156667	0.0304422
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.08	0.0304422
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.103333	0.0304422
Blanca de Junín - Rosada De Huancayo		-0.013333	0.0304422
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.09	0.0304422
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.09	0.0304422
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0133333	0.0304422
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.076666	0.0304422

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla Ñ.3: ANOVA para el parámetro b\* por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.398307	4	0.0995767	44.72	0.0000
Intra grupos	0.0222667	10	0.00222667		
Total (Corr.)	0.420573	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro b\* por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	1.05333	X
Blanca de Hualhuas	3	1.22	X
Amarillo Maranganí	3	1.23667	X
Rosada de Huancayo	3	1.25667	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.55667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	0.166667	0.085847
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.016667	0.085847
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.036667	0.085847
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.336667	0.085847
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.183333	0.085847
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-0.203333	0.085847
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.503333	0.085847
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.02	0.085847
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.32	0.085847
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.3	0.085847

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla N.4: ANOVA para el parámetro H por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	97.9304	4	24.4826	12.61	0.0006
Intra grupos	19.4176	10	1.94176		
Total (Corr.)	117.348	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro H por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	3	82.2833	X
Amarillo Maranganí	3	85.4567	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	86.85	X
Rosada de Huancayo	3	87.33	X
Blanca de Junín	3	90.1067	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	-7.82333	2.5351
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-3.17333	2.5351
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-5.04667	2.5351
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-4.56667	2.5351
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	4.65	2.5351
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	2.77667	2.5351
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.25667	2.5351
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-1.87333	2.5351
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-1.39333	2.5351
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.48	2.5351

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla N.5: ANOVA para el parámetro C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.43664	4	0.10916	10.73	0.0012
Intra grupos	0.101733	10	0.0101733		
Total (Corr.)	0.538373	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	1.05333	X
Blanca de Hualhuas	3	1.23	XX
Amarillo Maranganí	3	1.24	X
Rosada de Huancayo	3	1.39333	XX
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.56	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.176667	0.183497
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.01	0.183497
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.163333	0.183497
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.33	0.183497
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.186667	0.183497
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-0.34	0.183497
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.506667	0.183497
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.153333	0.183497
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.32	0.183497
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.166667	0.183497

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 17: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE AMILOSA

**Tabla O: ANOVA para % Amilosa por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.78143	4	1.94536	4.83	0.0198
Intra grupos	4.02427	10	0.402427		
Total (Corr.)	11.8057	14			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Amilosa por variedad de almidón

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	3	19.0867	X
Blanca de Junín	3	19.3333	X
Rosada de Huancayo	3	19.3833	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	20.6633	X
Amarillo Maranganí	3	20.78	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.246667	1.15409
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	-1.69333	1.15409
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.296667	1.15409
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.57667	1.15409
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-1.44667	1.15409
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		-0.05	1.15409
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.33	1.15409
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	1.39667	1.15409
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.116667	1.15409
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.28	1.15409

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 18: ANOVA Y LSD PARA EL PODER DE HINCHAMIENTO

**Tabla P.1: ANOVA para el PH a 55°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	2.32476	4	0.58119	11.22	0.0010
Intra grupos	0.5182	10	0.05182		
Total (Corr.)	2.84296	14			

### Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 55°C por variedad de almidón

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Hualhuas	3	6.11667	X
Rosada de Huancayo	3	6.18	X
Amarillo Maranganí	3	6.34667	X
Blanca de Junín	3	6.87	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	7.10667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	-0.75333	0.414139
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.23	0.414139
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.063333	0.414139
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.99	0.414139
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.523333	0.414139
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.69	0.414139
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.236667	0.414139
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.166667	0.414139
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.76	0.414139
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.926667	0.414139

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla P.2: ANOVA para el PH a 65°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.33803	4	0.834507	7.92	0.0038
Intra grupos	1.05307	10	0.105307		
Total (Corr.)	4.39109	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el PH 65°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	7.28	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	7.49333	XX
Amarillo Maranganí	3	7.94667	X
Blanca de Hualhuas	3	7.98667	X
Blanca de Junín	3	8.64667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	-0.66	0.590372
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.04	0.590372
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.706667	0.590372
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.493333	0.590372
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.7	0.590372
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	1.36667	0.590372
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.15333	0.590372
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.666667	0.590372
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.453333	0.590372
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.213333	0.590372

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla P.3: ANOVA para el PH a 75°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.94431	4	0.986077	6.74	0.0067
Intra grupos	1.46227	10	0.146227		
Total (Corr.)	5.40657	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el PH 75°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	8.60333	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	9.03333	XX
Amarillo Maranganí	3	9.49	XX
Blanca de Hualhuas	3	9.75333	X
Blanca de Junín	3	10.0433	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.29	0.695682
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.263333	0.695682
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	1.15	0.695682
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.72	0.695682
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.553333	0.695682
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	1.44	0.695682
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.01	0.695682
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.886667	0.695682
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.456667	0.695682
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.43	0.695682

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla P.4: ANOVA para el PH a 85°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.73783	4	2.18446	12.73	0.0006
Intra grupos	1.71607	10	0.171607		
Total (Corr.)	10.4539	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 85°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	11.19	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	11.4667	X
Amarillo Maranganí	3	11.6467	X
Blanca de Junín	3	12.4667	X
Blanca de Hualhuas	3	13.2767	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	0.81	0.753641
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.63	0.753641
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	2.08667	0.753641
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.81	0.753641
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	0.82	0.753641
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	1.27667	0.753641
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.0	0.753641
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.456667	0.753641
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.18	0.753641
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.276667	0.753641

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla P.5: ANOVA para el PH a 95°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22.2095	4	5.55238	19.48	0.0001
Intra grupos	2.8502	10	0.28502		
Total (Corr.)	25.0597	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el PH a 95°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	12.98	X
Rosada de Huancayo	3	14.39	X
Amarillo Maranganí	3	15.0167	X
Blanca de Hualhuas	3	16.1667	X
Blanca de Junín	3	16.2633	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.096667	0.97126
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.15	0.97126
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	1.77667	0.97126
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.18667	0.97126
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	1.24667	0.97126
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	1.87333	0.97126
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.28333	0.97126
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.626667	0.97126
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.03667	0.97126
Rosada De Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.41	0.97126

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 19: ANOVA Y LSD PARA EL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD

**Tabla Q.1: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 55°C por variedad de almidón.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.718973	4	0.179743	2.49	0.1105
Intra grupos	0.7224	10	0.07224		
Total (Corr.)	1.44137	14			

**Tabla Q.2: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 65°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	1.48237	4	0.370593	5.04	0.0174
Intra grupos	0.7358	10	0.07358		
Total (Corr.)	2.21817	14			

### **Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 65°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.9	X
Amarillo Maranganí	3	2.19667	XX
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	2.27333	XX
Blanca de Junín	3	2.55333	XX
Blanca de Hualhuas	3	2.82	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.266667	0.493489
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	0.623333	0.493489
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.92	0.493489
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.546667	0.493489
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.356667	0.493489
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.653333	0.493489
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.28	0.493489
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.296667	0.493489
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.076667	0.493489
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.373333	0.493489

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla Q.3: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 75°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.98484	4	0.49621	3.41	0.0525
Intra grupos	1.4534	10	0.14534		
Total (Corr.)	3.43824	14			

**Tabla Q.4: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 85°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24.1778	4	6.04444	36.93	0.0000
Intra grupos	1.63693	10	0.163693		
Total (Corr.)	25.8147	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 85°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	3.09333	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	4.22667	X
Amarillo Maranganí	3	4.40667	X
Blanca de Junín	3	5.63333	X
Blanca de Hualhuas	3	6.79333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	1.16	0.73606
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	2.38667	0.73606
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	3.7	0.73606
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.56667	0.73606
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	1.22667	0.73606
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	2.54	0.73606
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.40667	0.73606
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	1.31333	0.73606
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.18	0.73606
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.13333	0.73606

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla Q.5: ANOVA para el porcentaje de solubilidad a 95°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31.9685	3	10.6562	24.53	0.0002
Intra grupos	3.47493	8	0.434367		
Total (Corr.)	35.4434	11			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de solubilidad a 95°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	6.15	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	6.74	X
Blanca de Junín	3	9.35667	X
Amarillo Maranganí	3	9.95333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.596667	1.24092
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	3.20667	1.24092
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.61667	1.24092
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	3.80333	1.24092
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.21333	1.24092
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.59	1.24092

\* indica una diferencia significativa.

**ANEXO 20: ANOVA Y LSD PARA LA CLARIDAD DEL GEL**

**Tabla R.1: ANOVA para claridad a 0 h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.28	4	0.07	4.57	0.0235
Intra grupos	0.153333	10	0.0153333		
Total (Corr.)	0.433333	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 0h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.83333	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	2.03333	XX
Blanca de Hualhuas	3	2.06667	X

Amarillo Maranganí	3	2.16667	X
Blanca de Junín	3	2.23333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.166667	0.225277
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.1	0.225277
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.233333	0.225277
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0333333	0.225277
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.0666667	0.225277
Blanca de Junín - Rosada De Huancayo	*	0.4	0.225277
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.2	0.225277
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.333333	0.225277
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.133333	0.225277
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.2	0.225277

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla R.2: ANOVA para claridad a 24h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.286667	4	0.0716667	5.66	0.0121
Intra grupos	0.126667	10	0.0126667		
Total (Corr.)	0.413333	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 24h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.73333	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.9	XX
Blanca de Hualhuas	3	2.0	X
Amarillo Maranganí	3	2.1	X
Blanca de Junín	3	2.1	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.1	0.204752
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.1	0.204752
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.266667	0.204752
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.1	0.204752
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0	0.204752
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.366667	0.204752
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.2	0.204752
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.366667	0.204752
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.2	0.204752
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.166667	0.204752

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla R.3: ANOVA para claridad a 48h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.262667	4	0.0656667	3.52	0.0485
Intra grupos	0.186667	10	0.0186667		
Total (Corr.)	0.449333	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 48h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.7	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.86667	XX
Blanca de Hualhuas	3	1.96667	X
Blanca de Junín	3	2.03333	X
Amarillo Maranganí	3	2.06667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.066667	0.24856
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.1	0.24856
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.266667	0.24856
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.1	0.24856
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.033333	0.24856
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.333333	0.24856
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.166667	0.24856
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.366667	0.24856
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.2	0.24856
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.166667	0.24856

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla R.4: ANOVA para claridad a 72h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.316	4	0.079	8.46	0.0030
Intra grupos	0.0933333	10	0.00933333		
Total (Corr.)	0.409333	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 72h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.63333	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.86667	X
Blanca de Hualhuas	3	1.93333	XX
Amarillo Maranganí	3	1.96667	XX
Blanca de Junín	3	2.06667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.133333	0.175758
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.033333	0.175758
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.3	0.175758
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0666667	0.175758
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.1	0.175758
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.433333	0.175758
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.2	0.175758
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.333333	0.175758
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.1	0.175758
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.233333	0.175758

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla R.5: ANOVA para claridad a 96°C por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.333333	4	0.0833333	5.95	0.0102
Intra grupos	0.14	10	0.014		
Total (Corr.)	0.473333	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 96°C por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.6	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.83333	X
Blanca de Hualhuas	3	1.9	X
Amarillo Maranganí	3	1.96667	X
Blanca de Junín	3	2.03333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.133333	0.215259
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.066667	0.215259
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.3	0.215259
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0666667	0.215259
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.0666667	0.215259
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.433333	0.215259
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.2	0.215259
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.366667	0.215259
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.133333	0.215259
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.233333	0.215259

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla R.6: ANOVA para claridad a 120h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.369333	4	0.0923333	6.30	0.0085
Intra grupos	0.146667	10	0.0146667		
Total (Corr.)	0.516	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para claridad a 120h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	1.56667	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	1.8	X
Blanca de Hualhuas	3	1.86667	XX
Amarillo Maranganí	3	1.93333	XX
Blanca de Junín	3	2.03333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.166667	0.220325
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.066667	0.220325
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	0.3	0.220325
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0666667	0.220325
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.1	0.220325
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.466667	0.220325
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.233333	0.220325
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.366667	0.220325
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.133333	0.220325
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.233333	0.220325

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 21: ANOVA Y LSD PARA LA SINÉRESIS EN REFRIGERACIÓN – CONGELACIÓN

**Tabla S.1: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 24 h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18.5436	4	4.63591	17.87	0.0001
Intra grupos	2.59407	10	0.259407		
Total (Corr.)	21.1377	14			

### **Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 24 h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	3	22.7867	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	23.1	X
Amarillo Maranganí	3	24.5233	X
Blanca de Junín	3	25.2733	XX
Blanca de Hualhuas	3	25.5133	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.24	0.926591
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	0.99	0.926591
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	2.72667	0.926591
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.41333	0.926591
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.75	0.926591
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	2.48667	0.926591
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.17333	0.926591
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	1.73667	0.926591
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.42333	0.926591
Rosada De Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.313333	0.926591

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.2: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 72 h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.56787	4	2.39197	5.51	0.0131
Intra grupos	4.33773	10	0.433773		
Total (Corr.)	13.9056	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 72 h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	25.0767	X
Rosada de Huancayo	3	25.15	X
Amarillo Maranganí	3	25.8733	XX
Blanca de Hualhuas	3	26.39	XX
Blanca de Junín	3	27.21	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.82	1.1982
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.516667	1.1982
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	1.24	1.1982
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.31333	1.1982
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	1.33667	1.1982
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	2.06	1.1982
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.13333	1.1982
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.723333	1.1982
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.796667	1.1982
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.0733333	1.1982

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.3: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 120 h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.7795	4	2.94487	3.15	0.0640
Intra grupos	9.3352	10	0.93352		
Total (Corr.)	21.1147	14			

**Tabla S.4: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 168 h por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.3528	4	2.83821	23.02	0.0000
Intra grupos	1.233	10	0.1233		
Total (Corr.)	12.5858	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en refrigeración a 168 h por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Amarillo Maranganí	3	27.4	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	27.9433	X
Blanca de Junín	3	29.2333	X
Blanca de Hualhuas	3	29.3933	X
Rosada de Huancayo	3	29.57	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.16	0.638821
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.99333	0.638821
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.176667	0.638821
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.45	0.638821
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	1.83333	0.638821
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		-0.336667	0.638821

Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.29	0.638821
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-2.17	0.638821
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.543333	0.638821
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.62667	0.638821

---

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.5: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el ciclo 1 por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	111.12	4	27.7799	14.67	0.0003
Intra grupos	18.9356	10	1.89356		
Total (Corr.)	130.055	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 1 por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	45.9475	X
Amarillo Maranganí	3	48.4994	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	50.6399	XX
Blanca de Hualhuas	3	51.7167	XX
Rosada de Huancayo	3	53.8864	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	5.7692	2.50344
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	3.21731	2.50344
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-2.16968	2.50344
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		1.07686	2.50344
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-2.55189	2.50344
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-7.93889	2.50344
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-4.69234	2.50344
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-5.387	2.50344
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-2.14045	2.50344
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.24655	2.50344

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.6: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 2 por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	101.222	4	25.3056	64.01	0.0000
Intra grupos	3.95335	10	0.395335		
Total (Corr.)	105.176	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 2 por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca De Junín	3	45.9977	X
Amarillo Maranganí	3	49.4304	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	50.859	X
Blanca De Hualhuas	3	52.2094	X
Rosada De Huancayo	3	53.5522	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	6.21169	1.14388
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	2.77893	1.14388
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-1.34281	1.14388
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.35039	1.14388
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-3.43277	1.14388
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-7.55451	1.14388
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-4.8613	1.14388
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-4.12174	1.14388
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-1.42853	1.14388
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.69321	1.14388

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.7: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 3 por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	90.0452	4	22.5113	15.94	0.0002
Intra grupos	14.1257	10	1.41257		
Total (Corr.)	104.171	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 3 por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	46.8021	X
Amarillo Maranganí	3	49.6468	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	50.5628	XX
Blanca de Hualhuas	3	52.5685	XX
Rosada de Huancayo	3	53.894	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	5.76645	2.16224
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	2.92178	2.16224
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-1.3255	2.16224
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		2.00573	2.16224
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-2.84467	2.16224
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-7.09195	2.16224
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-3.76072	2.16224
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-4.24728	2.16224
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.916053	2.16224
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.33123	2.16224

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.8: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 4 por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	90.61	4	22.6525	38.61	0.0000
Intra grupos	5.86659	10	0.586659		
Total (Corr.)	96.4766	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 4 por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	47.3346	X
Amarillo Maranganí	3	50.0419	X
Blanca de Hualhuas	3	51.996	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	52.239	X
Rosada de Huancayo	3	54.6967	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	4.66135	1.39345
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.95404	1.39345
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	-2.70072	1.39345
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.243085	1.39345
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-2.70731	1.39345
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-7.36207	1.39345
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-4.90443	1.39345
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-4.65476	1.39345
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-2.19712	1.39345
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.45764	1.39345

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla S.9: ANOVA para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 5 por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	81.9691	4	20.4923	20.31	0.0001
Intra grupos	10.0918	10	1.00918		
Total (Corr.)	92.0609	14			

**Pruebas de Múltiple Rangos para el porcentaje de sinéresis en congelamiento para el Ciclo 5 por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	3	48.1982	X
Amarillo Maranganí	3	50.7278	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	3	52.9729	X
Blanca de Hualhuas	3	53.1833	XX
Rosada de Huancayo	3	54.9841	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	4.9851	1.82761
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	2.45553	1.82761
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-1.80081	1.82761
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.210414	1.82761
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-2.52957	1.82761
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-6.78591	1.82761
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-4.77469	1.82761
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-4.25634	1.82761
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-2.24512	1.82761
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.01122	1.82761

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO 22: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

**Tabla T.1: ANOVA para Temperatura inicial por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.77646	4	0.444115	5.50	0.0449
Intra grupos	0.4039	5	0.08078		
Total (Corr.)	2.18036	9			

### Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura inicial por variedad de almidón

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	51.115	X
Blanca de Junín	2	51.84	XX
Amarillo Maranganí	2	51.95	X
Rosada de Huancayo	2	52.155	X
Blanca de Hualhuas	2	52.35	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		0.51	0.730608
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0.4	0.730608
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.195	0.730608
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.235	0.730608
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.11	0.730608
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		-0.315	0.730608
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0.725	0.730608
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		-0.205	0.730608
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.835	0.730608
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.04	0.730608

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla T.2: ANOVA para Temperatura pico por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	6.44128	4	1.61032	45.95	0.0004
Intra grupos	0.175238	5	0.0350476		
Total (Corr.)	6.61652	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para la Temperatura pico por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	56.0145	X
Amarillo Maranganí	2	56.8345	X
Blanca de Junín	2	56.8615	X
Blanca de Hualhuas	2	58.038	X
Rosada de Huancayo	2	58.1315	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	1.1765	0.48124
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.2035	0.48124
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.0935	0.48124
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.0235	0.48124
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0.027	0.48124
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-1.27	0.48124
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.847	0.48124
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-1.297	0.48124
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.82	0.48124
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.117	0.48124

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla T.3: ANOVA para la Temperatura final por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	15.9307	4	3.98268	37.48	0.0006
Intra grupos	0.53135	5	0.10627		
Total (Corr.)	16.4621	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para la Temperatura final por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	62.675	X
Blanca de Junín	2	63.74	X
Amarillo Maranganí	2	64.035	X
Blanca de Hualhuas	2	65.505	X
Rosada de Huancayo	2	66.19	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	1.765	0.837988
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	1.47	0.837988
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		-0.685	0.837988
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	2.83	0.837988
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-0.295	0.837988
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-2.45	0.837988
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.065	0.837988
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	-2.155	0.837988
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.36	0.837988
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.515	0.837988

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla T.4: ANOVA para la entalpía de gelatinización por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.89894	4	0.224735	0.82	0.5636
Intra grupos	1.36895	5	0.27379		
Total (Corr.)	2.26789	9			

**ANEXO 23: ANOVA Y LSD PARA LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS GELES DE ALMIDÓN****Tabla U.1: ANOVA para esfuerzo inicial por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	69.8374	4	17.4593	5.14	0.0509
Intra grupos	16.978	5	3.3956		
Total (Corr.)	86.8154	9			

**Tabla U.2: ANOVA para el coeficiente consistencia por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	1.2528	4	0.3132	4.88	0.0562
Intra grupos	0.3212	5	0.06424		
Total (Corr.)	1.574	9			

**Tabla U.3: ANOVA para el índice reológico por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- <i>F</i>	Valor- <i>P</i>
Entre grupos	0.00204	4	0.00051	5.67	0.0423
Intra grupos	0.00045	5	0.00009		
Total (Corr.)	0.00249	9			

### **Pruebas de Múltiple Rangos para el índice reológico por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	2	0.485	X
Blanca de Hualhuas	2	0.5	XX
Amarillo Maranganí	2	0.52	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0.52	X
Blanca de Junín	2	0.52	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín		-0.02	0.0243867
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		-0.02	0.0243867
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.015	0.0243867
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.02	0.0243867
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		0	0.0243867
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	0.035	0.0243867
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		0	0.0243867
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo	*	0.035	0.0243867
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		0	0.0243867
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.035	0.0243867

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla U.4: ANOVA para k' por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1510.96	4	377.74	26.85	0.0014
Intra grupos	70.3363	5	14.0673		
Total (Corr.)	1581.3	9			

### **Pruebas de Múltiple Rangos para k' por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	2	89.6	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	90.56	X
Rosada de Huancayo	2	92.865	X
Amarillo Maranganí	2	95.025	X
Blanca de Hualhuas	2	122.38	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	32.78	9.64134
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí	*	27.355	9.64134
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	29.515	9.64134
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	31.82	9.64134
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí		-5.425	9.64134
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo		-3.265	9.64134
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.96	9.64134
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		2.16	9.64134
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		4.465	9.64134
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		2.305	9.64134

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla U.5: ANOVA para n' por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0003	4	0.000075	2.50	0.1711
Intra grupos	0.00015	5	0.00003		
Total (Corr.)	0.00045	9			

**Tabla U.6: ANOVA para k'' por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18.7977	4	4.69941	42.31	0.0005

Intra grupos	0.5553	5	0.11106
Total (Corr.)	19.353	9	

### **Pruebas de Múltiple Rangos para k'' por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Rosada de Huancayo	2	6.31	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	6.79	X
Amarillo Maranganí	2	7.77	X
Blanca de Hualhuas	2	8.105	X
Blanca de Junín	2	10.265	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	-2.16	0.856666
Blanca de Hualhuas – Amarillo Maranganí		0.335	0.856666
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo	*	1.795	0.856666
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	1.315	0.856666
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	2.495	0.856666
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	3.955	0.856666
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	3.475	0.856666
Amarillo Maranganí – Rosada de Huancayo	*	1.46	0.856666
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	0.98	0.856666
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.48	0.856666

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla U.7: ANOVA para n'' por variedad de almidón**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00624	4	0.00156	7.80	0.0224
Intra grupos	0.001	5	0.0002		
Total (Corr.)	0.00724	9			

**Pruebas de Múltiple Rangos para n'' por variedad de almidón**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanca de Junín	2	0.36	X
Rosada de Huancayo	2	0.405	X
Amarillo Maranganí	2	0.415	X
Blanca de Hualhuas	2	0.415	X
INIA -427 Amarillo Sacaca	2	0.435	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Blanca de Hualhuas - Blanca de Junín	*	0.055	0.0363536
Blanca de Hualhuas - Amarillo Maranganí		0	0.0363536
Blanca de Hualhuas - Rosada de Huancayo		0.01	0.0363536
Blanca de Hualhuas - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.02	0.0363536
Blanca de Junín - Amarillo Maranganí	*	-0.055	0.0363536
Blanca de Junín - Rosada de Huancayo	*	-0.045	0.0363536
Blanca de Junín - INIA -427 Amarillo Sacaca	*	-0.075	0.0363536
Amarillo Maranganí - Rosada de Huancayo		0.01	0.0363536
Amarillo Maranganí - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.02	0.0363536
Rosada de Huancayo - INIA -427 Amarillo Sacaca		-0.03	0.0363536

\* indica una diferencia significativa.