

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**“ANÁLISIS REOLÓGICO DE HARINAS Y ALMIDONES AISLADOS DE
CINCO VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) PARA SU
UTILIZACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE MAZAMORRA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

DEYLITH HAIDEE CHOQUEHUAYTA HUAMANSAYRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PROMOCIÓN: 2014 - II

PUNO – PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
“ANÁLISIS REOLÓGICO DE HARINAS Y ALMIDONES AISLADOS DE CINCO
VARIETADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) PARA SU UTILIZACIÓN EN
LA ELABORACIÓN DE MAZAMORRA”
TESIS

PRESENTADA POR:

DEYLITH HAIDEE CHOQUEHUAYTA HUAMANSAYRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 DE DICIEMBRE DEL 2017



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:.....

Ing. M. Sc. Marienela Calsin Cutimbo

PRIMER MIEMBRO

:.....

Ing. Raul Ivon Paucara Ramos

SEGUNDO MIEMBRO

:.....

Dr. Ulises Alvarado Mamani

DIRECTOR / ASESOR

:.....

Ing. M. Sc. Saire Roenfi Guerra Lima

PUNO – PERÚ
2017

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

A Dios por darme padres de ejemplo, esfuerzo, paciencia, perseverancia y responsabilidad.

A mis seres más queridos, mis padres *Cristobal Choquehuayta* y *Carmen Huamansayre*, por su amor e inagotable esfuerzo y apoyo incondicional en la culminación del presente trabajo, gestores de mi vida y formación Profesional; y sin olvidar a mis hermanos *José Luis Ch.* y *Gary Ch.* que en todo momento estuvieron presentes para darme la mano y brindarme su apoyo hasta lograr este ansiado proyecto, que será de mucha importancia para el País y el mundo.

También dedicar esta Tesis de Investigación a los *Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial* por el apoyo y el conocimiento que han compartido con nosotros, permitiéndonos de esta forma insertarnos en el mundo de la ciencia e investigación.

Deylith. H. CH. H.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud a la Universidad Nacional del Altiplano y la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por permitir mi formación académica y profesional.

Con la felicidad de ser un profesional de excelencia. Ya que esta carrera nos permite poder realizar muchas investigaciones de carácter innovador, científico y tecnológico. Convirtiéndonos en unos apasionados investigadores científicos, filósofos, buscadores de la verdad y tecnólogos.

A Ing. M. Sc. Saire Roenfi Guerra Lima docente de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial por su orientación, sus consejos y ayuda invaluable en la realización del trabajo de investigación, quien confió en mí, con paciencia, comprensión y motivación.

Finalmente, a todos aquellos, que contribuyen para la culminación final de esta Tesis de Investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. Mazamorra	15
2.2. Quinoa y sus propiedades.....	15
2.2.1. La quinoa.....	15
2.2.1.1. Estructura de la quinoa.....	16
2.2.1.2. Grano de quinoa	16
2.2.2. Composición química de la quinoa	17
2.2.2.1. Carbohidratos	18
2.3. Harina de quinoa	18
2.4. Almidón.....	19
2.4.1. Amilosa	20
2.4.2. Amilopectina	21
2.4.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	22
2.4.3.1. Contenido de amilosa y amilopectina	22
2.4.4. Propiedades reológicas de almidones.....	24
2.4.5. Propiedades funcionales del almidón.....	24
2.4.5.1. Gelatinización	25
2.4.5.2. Poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua	25
2.4.5.3. Retrogradación	26
2.4.5.4. Viscosidad	28
2.5. Almidón de quinoa.....	28
2.6. Usos del almidón.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32

3.1.	Lugar de ejecución	32
3.2.	Materia prima	32
3.3.	Equipos y materiales	32
3.3.1.	Equipos.....	32
3.3.2.	Materiales	33
3.3.3.	Reactivos	33
3.4.	Metodología experimental	33
3.4.1.	Evaluación de las propiedades reológicas de mazamorra de cinco variedades de quinua	33
3.4.1.1.	Metodología para la obtención de harina de quinua	34
3.4.1.2.	Metodología para la elaboración de mazamorra de quinua	35
3.4.2.	Evaluación de las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos.....	35
3.4.2.1.	Metodología para la extracción de almidones de quinua	36
3.4.2.2.	Metodología para la obtención de gel de almidón de quinua.....	38
3.5.	Métodos de análisis	38
3.5.1.	Análisis reológico de mazamorra y almidones de quinua	38
3.5.2.	Determinación de rendimiento de almidones extraídos	39
3.5.3.	Evaluación de la forma y tamaño de los almidones	39
3.5.4.	Determinación del contenido de amilosa y amilopectina	39
3.6.	Análisis estadístico.....	41
3.6.1.	Evaluación de las propiedades reológicas de mazamorra de cinco variedades de quinua	41
3.6.2.	Evaluación de las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedad reológicas de almidones.....	42
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1.	Propiedades de empaste de mazamorra formuladas con harinas de quinua ...	43
4.2.	Características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos de cinco variedades de quinuas	51
4.2.1.	Rendimiento de la extracción de almidones de cinco variedades de quinuas.....	51
4.2.2.	Microestructura de almidones de quinua	53

4.2.3. Contenido de amilosa y amilopectina	54
4.2.4. Propiedades de empaste de los almidones de quinua.....	56
4.2.4.1. Propiedades de empaste de almidones a diferentes cantidades de agua para cada variedad.	64
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación botánica.....	16
Tabla 2.	Composición proximal del grano de quinua (g / 100 g).	17
Tabla 3.	Composición de carbohidratos del grano de quinua (% base seca).....	18
Tabla 4.	Requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua.....	19
Tabla 5.	Composición química de la harina de quinua.	19
Tabla 6.	Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina.....	22
Tabla 7.	Soluciones estándar para la curva de calibración.	40
Tabla 8.	Características de empaste de mazamorras de cinco variedades de quinua al 75 % de agua.	44
Tabla 9.	Características de empaste de mazamorras de cinco de variedades de quinua al 85 % de agua.	45
Tabla 10.	Características de empaste de mazamorras de cinco variedades de quinua al 95 % de agua.	46
Tabla 11.	Rendimiento de almidones extraídos de cinco variedades de quinuas	51
Tabla 12.	Contenido de amilosa y amilopectina de las cinco variedades de almidones de quinuas.....	54
Tabla 13.	Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 75 % de agua.	57
Tabla 14.	Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 85 % de agua.	58
Tabla 15.	Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 95 % de agua.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sección longitudinal media del grano de quinua.	17
Figura 2.	Estructura de la amilosa.	21
Figura 3.	Estructura de la amilopectina.	22
Figura 4.	Flujograma de obtención de harina de quinua.	34
Figura 5.	Flujograma de elaboración de mazamorra de quinua.....	35
Figura 6.	Flujograma de extracción de almidón de quinua.	36
Figura 7.	Flujograma para la obtención de gel de almidón de quinua.....	38
Figura 8.	Curva de empaste de mazamoras de quinua al 75 % de agua.....	43
Figura 9:	Curva de empaste de mazamoras de quinua al 85 % de agua.....	44
Figura 10:	Curva de empaste de mazamoras de quinua al 95 % de agua.	45
Figura 11:	Tiempo de empaste para las mazamoras de las cinco variedades de quinua	47
Figura 12:	Temperatura de empaste para las mazamoras de las cinco variedades de quinua.	48
Figura 13:	Viscosidad pico para las mazamoras cinco variedades de quinua.....	49
Figura 14.	Relación de la viscosidad pico y el contenido de almidón de cada variedad de quinua	50
Figura 15:	Rendimientos para cada variedad de almidón de quinua	52
Figura 16.	Microestructura de los almidones de cinco variedades de quinua. a) A.V.A. b) A.V.K. c)A.V.I.I. d) A.V.R.CH.T. e) A.V.S.I.....	53
Figura 17:	Contenido de amilosa por variedad de almidón de quinua.	55
Figura 18.	Curva de empaste de almidones de quinuas al 75 % de agua.	56
Figura 19:	Curva de empaste de almidones de quinuas al 85 % de agua.	57
Figura 20:	Curva de empaste de almidones de quinuas al 95 % de agua.....	58
Figura 21:	Tiempo de empaste para cada variedad de almidón de quinua.....	59
Figura 22:	Temperatura de empaste para cada variedad de almidón de quinua.....	60
Figura 23:	Viscosidad pico para cada variedad de almidón de quinua	61
Figura 24:	Relación del contenido de amilosa con las viscosidades pico	63
Figura 25:	Relación del contenido de amilosa con la estabilidad de la viscosidad al 95 % de agua	63
Figura 26:	Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad altiplano.	64

Figura 27. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Illpa INIA.	64
Figura 28. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Kancolla.....	65
Figura 29. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Rosado choclo Taraco	65
Figura 30. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Salcedo INIA.....	66

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

H.V.A	Harina variedad Altiplano.
H.V.K	Harina variedad Kancolla.
H.V.I.I.	Harina variedad Illpa INIA.
H.V.R.CH.T.	Harina variedad Rosado Choclo Taraco.
H.V.S. I.	Harina variedad Salcedo INIA.
A.V.A.	Almidón variedad Altiplano.
A.V.K.	Almidón variedad Kancolla.
A.V.I.I.	Almidón variedad Illpa INIA.
A.V.R.CH.T.	Almidón variedad Rosado Choclo Taraco.
A.V.S.I.	Almidón variedad Salcedo INIA.
η	Viscosidad (Pa s)
To	Temperatura de inicio de gelatinización (°C)
Tp	Temperatura máxima de gelatinización (°C)
Cp	Centipoise
FMA	Fracción másica amilosa en base seca

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue identificar la mejor variedad de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) para la elaboración de mazamorra, Para lo cual se elaboraron y evaluaron las propiedades reológicas de las mazamoras a partir de harinas de quinua también se evaluaron las propiedades reológicas, características físicas y contenido de amilosa y amilopectina de almidones de cinco variedades de quinua. El presente trabajo se realizó en dos etapas: En la primera etapa se evaluó las propiedades reológicas de mazamoras elaboradas con tres (03) formulaciones de procesamiento al 5 %, 15 % y 25 % de harinas de cinco variedades de quinua y la segunda etapa se evaluó las características físicas, contenido de amilosa, amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos de cinco variedades de quinua. Las propiedades reológicas de mazamoras reportan los siguientes resultados temperatura de empaste (68 – 72.7 °C) y viscosidades pico de (70271 – 142383.70 cP). Los resultados en cuanto al rendimiento en la extracción de almidones fueron para la variedad Rosado choclo Taraco 28.95 %; seguido de la variedad Illpa INIA con 26.41 %, Altiplano con 22.87 %, Salcedo INIA con 22.40 % mientras que el menor rendimiento es para la variedad Kancolla que fue de 22.27 %; en cuanto al contenido de amilosa los resultados mostraron que los almidones de quinua tienen bajo contenido de amilosa de (8- 10.32 %); también se observó que los almidones de quinua son de forma poligonal irregular de tamaños de (1 a 2 μm); con respecto a las propiedades reológicas de los almidones se observó un rango de temperatura de empaste de (67.5-70 °C) y las viscosidades pico de (67088.29- 103010.785 cP). Respecto al primer objetivo se concluye que la mejor variedad de quinua para elaborar la mazamorra es el Altiplano. En cuanto al segundo objetivo las propiedades reológicas están relacionadas con el contenido de amilosa y la forma y tamaño de los gránulos de almidón

Palabras claves: almidón de quinua, mazamorra de quinua, propiedades reológicas, amilosa y amilopectina

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the best variety of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) for the production of porridge, for which the rheological properties of the porridge were elaborated and evaluated from quinoa flours. The rheological properties were also evaluated physical and amylose and amylopectin content of starches from five varieties of quinoa. The present work was carried out in two stages: In the first stage the rheological properties of porridge elaborated with three (03) processing formulations at 5%, 15% and 25% of flours from five varieties of quinoa were evaluated and the second stage was evaluated the physical characteristics, amylose content, amylopectin and rheological properties of starches extracted from five varieties of quinoa. The rheological properties of porridge report the following results of filling temperature (68 - 72.7 ° C) and peak viscosities of (70271 - 142383.70 cP). The results regarding the yield in the extraction of starches were for the variety Rosado choclo Taraco 28.95%; followed by the Illpa INIA variety with 26.41%, Altiplano with 22.87%, Salcedo INIA with 22.40% while the lowest yield is for the Kancolla variety, which was 22.27%; As for the content of amylose, the results showed that quinoa starches have a low amylose content of (8-10.32%); it was also observed that quinoa starches are of irregular polygonal shape of sizes (1 to 2 μm); with respect to the rheological properties of the starches a range of temperature of filling (67.5-70 ° C) and the peak viscosities of (67088.29- 103010.785 cP) were observed. Regarding the first objective, it is concluded that the best variety of quinoa to make porridge is the Altiplano. Regarding the second objective, the rheological properties are related to the amylose content and the shape and size of the starch granules.

Keywords: quinoa starch, quinoa porridge, rheological properties, amylose and amylopectin.

I. INTRODUCCIÓN

La mazamorra es un postre popular de varios países latinoamericanos. La denominación proviene de la culinaria española, aunque se considera proveniente de las variadas tradiciones culinarias de las culturas indígenas precolombinas en las regiones donde se consume. La mazamorra es preparada de diferentes formas y con distintos ingredientes, dependiendo del país en el que se consume (Arteaga, Andrade, Durango, & Mosquera, 2015).

La harina de quinua es el producto resultante de la molienda de la quinua perlada (grano entero obtenido del escarificado y desaponificado) su finura depende del número de zaranda o malla utilizada en la molienda (Bonamino *et al.*, 2009).

Bonifacio *et al.* (2013) sugieren que algunas variedades de quinua pueden ser utilizadas en formulaciones alimenticias para bebés, por los menores tiempos requeridos de gelatinización de sus almidones. Por otra parte, los almidones de quinua blanca y Pasankalla pueden ser utilizados como espesantes en cremas y sopas (Pumacahua *et al.*, 2013). Si bien la mazamorra es un producto bien conocido en diferentes países latinoamericanos, no existe bibliografía científica donde se detallan las condiciones de procesado, mucho menos estudios relacionados a las propiedades reológicas de los almidones de distintas variedades de quinua, para el uso adecuado según el producto a evaluar. Por lo cual se planteó evaluar las propiedades reológicas de las mazamoras y almidones de diferentes variedades de quinua ya que esto podría identificar la mejor variedad para la elaboración de mazamorra de quinua y permitir aprovechar mejor las materias primas, principalmente la harina de quinua. Por lo tanto, los objetivos son:

Elaborar y evaluar las propiedades reológicas de las mazamoras a partir de harinas de cinco variedades de quinua (Illpa INIA, Altiplano, Kancolla, Rosado choclo Taraco, Salcedo INIA).

Evaluar las propiedades reológicas, características físicas y contenido de amilosa y amilopectina de almidones de cinco variedades de quinua (Illpa INIA, Altiplano, Kancolla, Rosado choclo Taraco, Salcedo INIA).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Mazamorra

La mazamorra es un postre popular de varios países latinoamericanos. Esta denominación proviene de la culinaria española, aunque se considera proveniente de las variadas tradiciones culinarias de las culturas indígenas precolombinas en las regiones donde se consume. La mazamorra es preparada de diferentes formas y con distintos ingredientes, dependiendo del país en el que se consume (Arteaga *et al.*, 2015).

La mazamorra morada en el Perú generalmente es conocida como un postre del resultado del cocimiento del maíz morado, frutas, hierbas aromáticas, especias, azúcar, almidón de camote, de consistencia densa y textura gelatinosa (Espejo, 2007).

Los pueblos andinos sobre todo los que habitaron alrededor del Lago Titicaca emplearon la quinua en diversos platos regionales como la “lagua” es una especie de mazamorra de harina de quinua a la que generalmente se le añade la cal o “katawi” para preparar el “katawi lagua” este último es tradicional especialmente en la zona alrededor del lago Titicaca, pues la cal era traída desde Cutimbo, antigua capital del reino Lupaca que ahora constituye la zona de Chucuito (Tapia, 1979).

2.2. Quinua y sus propiedades

2.2.1. La quinua

La quinua es una especie vegetal que se origina, cultiva y consume en los Andes, desde civilizaciones preincaicas aproximadamente 3000 años a. C. La quinua fue considerada como un alimento sagrado por esta civilización, así en su lengua quechua se refiere a la quinua como chisiya que significa “grano madre” posteriormente, con la llegada de los españoles la siembra de quinua fue reemplazada por el trigo, el centeno la avena (Arendt & Zamini, 2013).

La quinua es un grano andino que se caracteriza por su alto valor energético y nutricional: proporciona proteínas, minerales, calcio, hierro y fósforo en porcentajes elevados; es considerada como un alimento vegetal nutricionalmente completo y capaz de sustituir a las proteínas de origen animal (Manzaneda, 2010).

2.2.1.1. Estructura de la quinua

La planta de quinua se cultiva anualmente y pertenece a la familia Chenopodiaceae y su nombre científico es *Chenopodium quinoa* Willd. Además, existen más de 250 subespecies de quinua en el mundo (Arendt & Zamini, 2013). En la Tabla 1 se detalla la división botánica de la planta de quinua.

Tabla 1. Clasificación botánica.

Sub-clase: Dicotyledoneae

Grupo: Thalamiflorae

Orden: Caryophyllales

Familia: Chenopodiaceae

Género: *Chenopodium*

Especie: Quinua

Fuente: Arendt & Zamini, (2013).

2.2.1.2. Grano de quinua

El grano de quinua presenta diferentes colores: blanco, café, amarillo, gris, rosado, rojo o negro. El tamaño del grano varía entre: grande (2,2 a 2,6 mm), mediano (1,8 a 2,1 mm) y pequeño (menor a 1,8 mm) (Repo De Carrasco & Encina, 2008).

En cuanto a su morfología el grano de quinua puede ser cónico, cilíndrico o elipsoidal, este grano se caracteriza por estar formado de tres capas de tejidos que son:

- Episperma es la cubierta del grano donde están concentradas las saponinas.
- Embrión contiene la mayor cantidad de proteína.
- Perisperma es la capa interna del grano donde se encuentra el almidón.

En la Figura 1 se muestra las capas externas y la capas internas del grano de quinua (Arendt & Zamini, 2013).

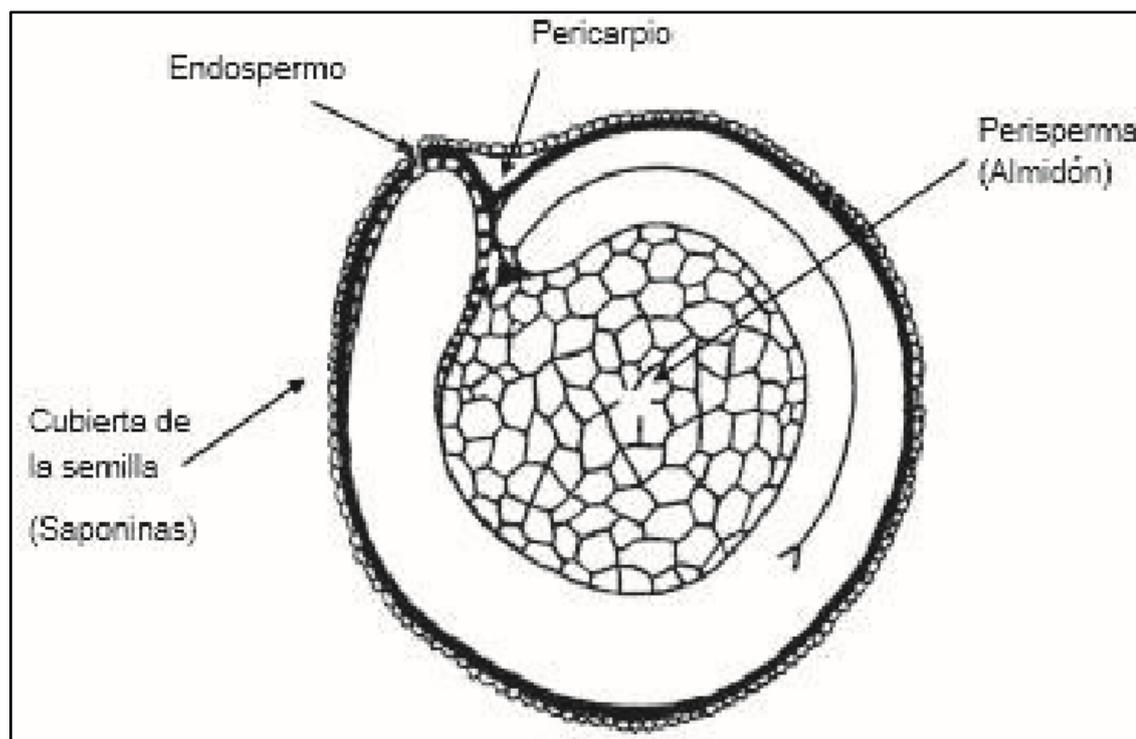


Figura 1. Sección longitudinal media del grano de quinua, reproducido de Arendt & Zamini,(2013).

2.2.2. Composición química de la quinua

La quinua posee propiedades de los cereales tradicionales como: trigo, arroz, cebada, maíz entre otros. En la Tabla 2 se detalla los componentes del grano de quinua (Meyhuay, 2013).

Tabla 2. Composición proximal del grano de quinua (g / 100 g).

Parámetro	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	9,40	13,40
Proteína	11,00	21,30
Grasa	5,30	8,40
Carbohidratos	53,50	74,30
Cenizas	3,00	3,60
Fibra	2,10	4,90

Fuente: Meyhuay, (2013)

2.2.2.1. Carbohidratos

En el grano de quinua la cantidad de carbohidratos varía entre un 53,5 a 74,3 %, se caracteriza por poseer un alto contenido de almidón, que varía entre un 32 a 69,2 %. La fibra dietética total de la quinua es de 7,0 a 9,7 %. Al comparar la cantidad de carbohidratos con el grano de cebada y arroz es mayor que el contenido del grano de quinua, como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición de carbohidratos del grano de quinua (% base seca)

Grano	Carbohidratos
Quinua	73,60
Cebada	77,70
Arroz	79,20

Fuente: Abugoch, (2009).

2.3. Harina de quinua

La harina de quinua se obtiene a través de una molienda convencional, a partir de quinua perlada (sin saponina) en molinos específicos y su uso es en la alimentación y la agroindustria. La harina es el resultado del proceso donde la quinua desaponificada, es molida a presión y fricción, y luego sometida a un ventilado para obtener un elevado nivel de pulverización, a fin de obtener una materia de calidad panificable (Mujica *et al.*, 2006).

En la industria alimentaria, la harina obtenida de quinua perlada puede utilizarse como materia prima en panificación y subproductos (pasteles, galletas, etc.), pastas (fideos y afines), bebidas (refrescos y chicha), etc. La mezcla (porcentaje) de harinas crudas: quinua kiwicha-frijol (61-19-20) y quinua-kañiwa-habas (75-15-10) para papillas y bebidas en la alimentación de niños en edad preescolar o ablactancia (2 a 5 años), es una alternativa muy promisoría para disminuir la desnutrición infantil (Repo-Carrasco, 1992).

Tabla 4. Requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua.

Requisitos	Unidades	Valores		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Humedad	%	-----	13,5	AOAC 945.15
Proteína	%	10	-----	AOAC 992.23 ISO 1871
Fibra cruda	%	1,70	-----	AOAC 945.38
Cenizas totales	%	-----	3,0	AOAC 923.03 ISO 2171
Grasa	%	4,0	-----	AOAC 945.38
Carbohidrato por diferencia	%	72,7	-----	Determinación indirecta por la diferencia de 100 en %
Acidez (expresada como ácido oleico)	%	-----	1	ISO 7305

Fuente: NTP 011.451:2013. Granos Andinos.

Tabla 5. Composición química de la harina de quinua.

Parámetros	Harina de quinua negra	Harina de quinua dulce	Harina de quinua amarga
	Humedad (%)	12,00	10,48
Cenizas (%)	2,59	2,77	2,42
Fibra cruda (%)	3,14	2,86	2,86
Extracto etéreo (%)	7,00	6,53	6,96
Proteína (%)	10,91	16,72	16,13
Carbohidratos total (%)	66,39	63,65	63,63

Fuente: Díaz, (2016)

2.4. Almidón

El almidón está constituido principalmente de dos polisacáridos que son la amilosa y la amilopectina, encontrándose también en menor cantidad contaminantes

como proteínas, lípidos y minerales. La proporción en la que se encuentra cada uno de los polisacáridos mencionados se rige por la genética de la fuente utilizada para su extracción, lo cual influye en sus propiedades funcionales (Badui, 2006).

Son los carbohidratos naturales que constituyen las reservas de nutrientes de las plantas, análogas al glicógeno animal y tienen la fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$ donde n es probablemente no menor de 1000 (Kirk *et al.*, 2004). Las características físicas y químicas específicas del almidón y sus aspectos nutricionales lo diferencian del resto de carbohidratos. Tanto la forma como el tamaño de los gránulos son característicos de la especie vegetal y pueden utilizarse para identificar el origen de un almidón o mazamorra (Coulate, 2007).

En términos de cantidad el almidón, después de la celulosa, es el carbohidrato más abundante en la naturaleza, y es el principal constituyente de la mazamorra, en la mazamorra de trigo el almidón corresponde aproximadamente al 70 %, y por esta razón es importante en los productos de panificación y pastelería (Charley, 2001).

Las principales fuentes de almidón utilizado en la industria alimentaria son los cereales (maíz, trigo, arroz y sorgo) y los tubérculos (papa y mandioca). Los almidones se diferencian uno de otros por la forma y el tamaño de su grano, las proporciones respectivas de cadenas de amilosa y amilopectina, que condicionan sus propiedades físicas, y por el proceso utilizado para su extracción (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2010).

2.4.1. Amilosa

El almidón es una sustancia heterogénea material que contiene dos microestructuras: lineal (amilosa) y ramificada (amilopectina). La amilosa es esencialmente una estructura lineal de $-1,4$ unidades de glucosa unidas, la estructura lineal de la amilosa hace que su comportamiento sea más estrecho, se parece a los polímeros sintéticos convencionales. El peso molecular de la amilosa es aproximadamente $\times 10^6$, que es 10 veces mayor que la de los polímeros sintéticos convencionales (Zou *et al.*, 2012).

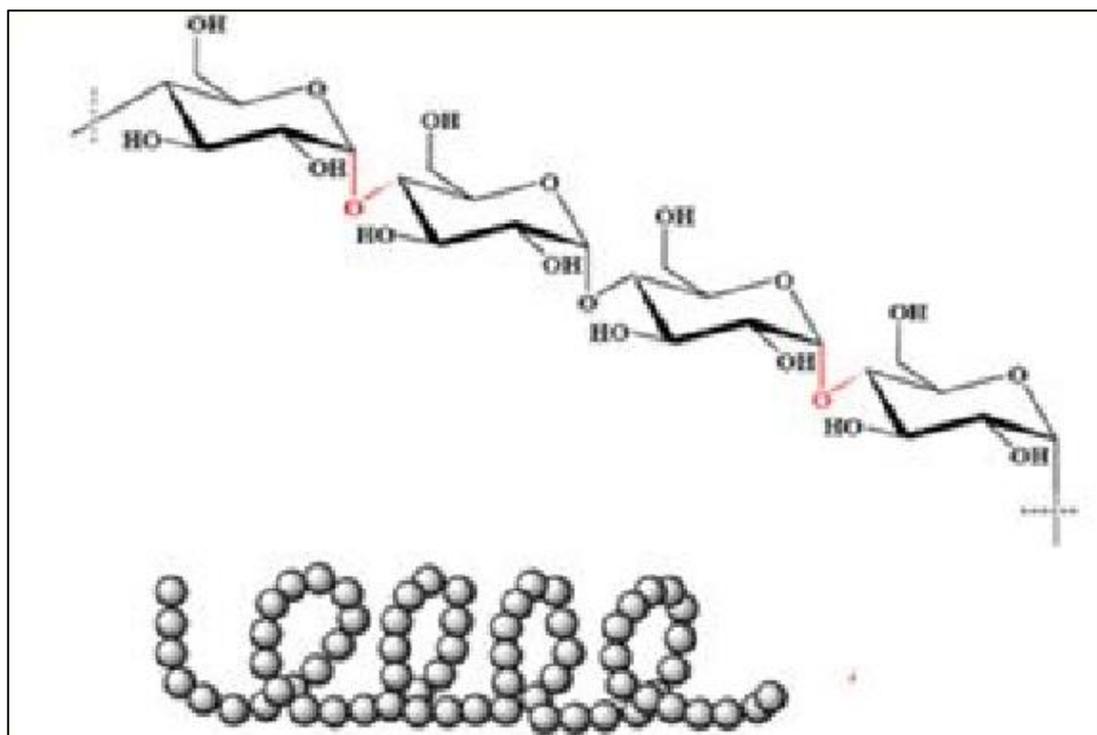


Figura 2. Estructura de la amilosa, reproducido de Acosta, (2013)

El contenido de amilosa también juega un papel importante en la digestibilidad de los alimentos, ya que algunos estudios han determinado que los almidones con un bajo contenido de amilosa son de más fácil digestión que aquellos con un alto contenido (Riley *et al.*, 2006).

Por su parte, (Wang *et al.*, 2010) establecen que los altos contenidos de amilosa se relacionan directamente con una mayor fuerza del gel y un menor consumo de energía para el hinchamiento. También establecieron que las cadenas medias de amilopectina tienen un efecto pronunciado en la fase de transición y en las temperaturas de gelatinización, dando a estas cadenas ramificadas la posibilidad de ser las responsables de las propiedades reológicas del almidón.

2.4.2. Amilopectina

Es un polisacárido semi-cristalino, con una cristalinidad que varía entre un 15 y 45 %. La amilopectina presenta un esqueleto altamente ramificado con enlaces α -1,4 y con puntos de ramificación α -1,6. El peso molecular de la amilopectina oscila entre los 107 y 108, que es mucho mayor que el de la Amilosa (Bernal & Martínez, 2006; Zou *et al.*, 2012).

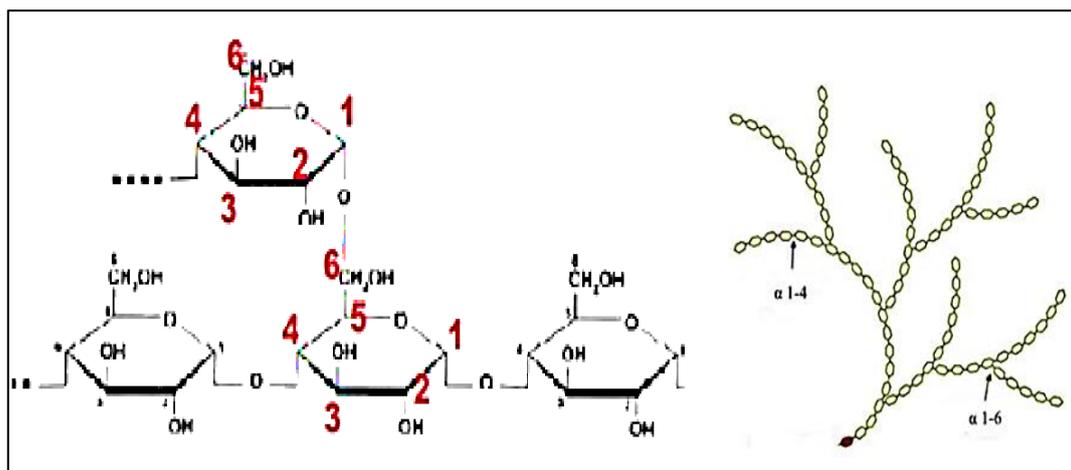


Figura 3. Estructura de la amilopectina, Reproducido de Acosta, (2013)

La amilopectina es una de las moléculas largas en la naturaleza, reportaron muy pocos resultados en el peso molecular de la amilopectina de cereales por que los almidones de cereales son difíciles de disolver en agua y también son fácilmente degradables. En la literatura la amilosa es directamente determinable pero la amilopectina solo por diferencia. En los almidones de quinua el contenido de amilopectina según Tari *et al.* (2003) es más de 77.5%.

2.4.3. Propiedades fisicoquímicas del almidón

2.4.3.1. Contenido de amilosa y amilopectina

La estructura de las dos fracciones que contiene el almidón (amilosa y amilopectina) y la proporción variable en que se encuentran explican muchas de sus propiedades físicas y químicas. La amilosa es un polímero lineal que contiene un 99 por ciento de enlaces α -1,4 y un uno por ciento de α -1,6, mientras que la amilopectina es un polímero altamente ramificado que contiene 95 por ciento de enlaces α -1,4 y cinco por ciento de α -1,6. En la Tabla 6 se resume las más importantes propiedades fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina. Estos dos polímeros forman las regiones amorfas y cristalinas en el gránulo de almidón (Zhang *et al.*, 2014).

La proporción de los dos α -glucanos (amilosa y amilopectina) en los gránulos de almidón, así como su estructura molecular influyen, en las propiedades de solubilidad, la temperatura de gelatinización, viscosidad, gelificación y retrogradación del almidón, por tanto, representan los principales parámetros de calidad, textura y estabilidad de los almidones (Schirmer *et al.*, 2015).

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular/ramificaciones	Principalmente lineal/principalmente α -1-4	Altamente ramificada/ α 1-4; α -1-6
Peso molecular	105-106 Da	107-109 Da
Yodo unión/color	20 %/azul-negro	<1 %/rojo-púrpura
Digestibilidad por β-amilasa	100 %	Aprox. 60 %
Dilatación en soluciones acuosas	Inestable	Estable
Solubilidad	Baja/apenas soluble	Alta
Temperatura de gelatinización	Baja	Alta
Temperatura de fusión	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)

En general, la relación de amilosa y amilopectina dependen fuertemente de su origen botánico. Los almidones regulares contienen aproximadamente 70-80 por ciento de amilopectina y 20-30 por ciento de amilosa, almidones céreos menos del 10 por ciento de amilosa y almidones de alta amilosa más de 40 % de ésta (Tester, Karkalas, & Qi, 2004) citados por (Schirmer *et al.*, 2015). Con el fin de obtener almidones con propiedades específicas, se han desarrollado varios métodos que tienen como objetivo aumentar el contenido de amilosa o amilopectina. Así, por ejemplo, en el caso del arroz, alcanza más calidad cuanto mayor sea su contenido en amilosa, pues el grano del cereal resulta menos pegajoso en la cocción. Los almidones de los cereales conocidos como “céreos” presentan una gran estabilidad frente a los procesos de congelación-descongelación. Por ello se emplean para elaborar postres congelados y aquellas comidas congeladas que llevan salsas (Bello, 2000).

Durante la cocción la amilopectina absorbe mucha agua y es en gran parte, responsable de la hinchazón de los gránulos de almidón mientras que la fracción del complejo de amilosa puede retardar la hinchazón e inducir a un aumento de la temperatura de gelatinización del gránulo (Barrera *et al.*, 2004) citados por (Schirmer *et al.*, 2015).

2.4.4. Propiedades reológicas de almidones

Por definición, la reología es el estudio de la deformación y el flujo de la materia. Las propiedades reológicas se basan en las respuestas de flujo y deformación de los alimentos cuando se somete a esfuerzos normales y tangenciales. Los alimentos pueden ser clasificados de diferentes maneras, por ejemplo, en forma de sólidos, geles, líquidos homogéneos, suspensiones de sólidos en líquidos y emulsiones. Los alimentos fluidos son aquellos que no conservan su forma, pero toman la forma del recipiente que los contiene. Los alimentos fluidos que contienen cantidades significativas de compuestos disueltos de alto peso molecular (polímeros) y/o sólidos en suspensión presentan un comportamiento no newtoniano. Muchos alimentos no newtonianos también presentan propiedades tanto viscosas y elásticas, es decir, que presentan un comportamiento viscoelástico (Rao, 2014).

La reología del almidón es el estudio de las relaciones de esfuerzo-deformación del almidón en los sistemas acuosos. La gelatinización del almidón, especialmente el hinchamiento del gránulo, cambia las propiedades reológicas del almidón. La posterior retrogradación modificará adicionalmente las propiedades reológicas del almidón. Dependiendo de la fuente de almidón y la concentración, la estructura final de los productos con almidón dará una solución espesa o una estructura gelificada (Cui, 2005).

2.4.5. Propiedades funcionales del almidón

Durante mucho tiempo se ha reconocido que las propiedades funcionales dependen de una serie de factores integrados que incluyen la composición del polímero, la estructura molecular, la organización entre cadenas y constituyentes menores. Como resultado, los almidones de diferentes orígenes botánicos difieren en sus propiedades físicas y funcionales. Además, la modificación química, enzimática y física de almidón, ya sea con la preservación o destrucción del gránulo nativo, amplía las propiedades de funcionalidad (Bemiller & Wistler, 2009).

Con el fin de lograr sus atributos funcionales en productos que contienen almidón, éste tiene que pasar por un proceso térmico en casi todos los alimentos y otras aplicaciones industriales. Los geles de almidón formados tras el calentamiento en exceso de agua, refrigeración y almacenamiento implican varias transiciones de fase, tales como gelatinización, empaste, gelificación, y retrogradación (Ahmed *et al.*, 2012).

2.4.5.1. Gelatinización

El almidón en su estado nativo es insoluble en agua. Forma una suspensión temporal de grandes partículas, que no se disuelven en el medio que las rodea y se depositarán en el fondo de un recipiente a menos que se agite. Las partículas pueden embeber una pequeña cantidad de agua, pero, generalmente, la formación de una suspensión supone un cambio mínimo del almidón. La captación de agua por el almidón es reversible si el almidón se seca mientras no se ha cocido. La molécula de almidón no cocido presenta una formación de cruz de Malta, o birrefringencia, en el gránulo cuando se ve bajo luz polarizada con un microscopio electrónico, pues es una estructura cristalina muy ordenada y la luz se refracta en dos direcciones (Vaclavick, 2002).

2.4.5.2. Poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua

A temperatura de ambiente, los gránulos de almidón pueden absorber hasta un 30 por ciento de su peso en exceso de agua sin hinchazón notable. Sin embargo, durante el calentamiento, los gránulos de almidón absorben mucha más agua y se hinchan. El hinchamiento y la posterior solubilización de amilosa y amilopectina son los cambios estructurales más importantes durante y después de la gelatinización de los gránulos de almidón. Cuando el almidón se calienta en exceso de agua la estructura cristalina se altera debido a la rotura de enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestas de amilosa y amilopectina. Esto provoca un aumento en el hinchamiento de los gránulos y la solubilidad (Hoover, 2001).

El poder de hinchamiento es la cantidad de agua que un almidón puede absorber por gramo de almidón a una temperatura determinada y a una cierta concentración de almidón, mientras que la solubilidad representa los porcentajes de amilosa y amilopectina lixiviados a esta temperatura. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de

almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón (Waterschoot *et al.*, 2015; Ahmed *et al.*, 2012).

El hinchamiento del gránulo se atribuye principalmente a la amilopectina y se inhibe por la amilosa. Como resultado, almidones céreos tienen un poder de hinchamiento mayor que sus homólogos que contienen amilosa. Los gránulos de almidón de cereales no muestran un hinchamiento completo hasta que la amilosa se ha lixiviado del gránulo (Ahmed *et al.*, 2012). De igual forma, esta propiedad está influenciada por las características de la amilosa y amilopectina en cuanto a la distribución del peso molecular, grado de ramificación, longitud de las cadenas y conformación de las moléculas, así como por la formación de complejos amilosa-lípidos que restringen el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones (Robles, 2012).

2.4.5.3. Retrogradación

Después de la gelatinización y tras el enfriamiento, especialmente durante el almacenamiento, la retrogradación se produce como resultado de la reasociación y la cristalización de moléculas de almidón (formación de dobles hélices y cristalitos), principalmente de la amilosa de forma rápida, seguido de una lenta recristalización de las moléculas de amilopectina, y que modifican aún más la estructura del gel; por lo tanto influye en la textura y el tiempo de vida de los productos derivados del almidón gelificado (Ahmed *et al.*, 2012). La retrogradación de la amilosa determina la dureza inicial y la pegajosidad del gel de almidón. El desarrollo, a largo plazo, de la estructura del gel y la cristalinidad del almidón procesado, que están involucrados en el envejecimiento del pan y pasteles, se considera que es debida a la retrogradación de la amilopectina (Wang, *et al.*, 2015).

La retrogradación del almidón suele ir acompañada de una serie de cambios físicos tales como el aumento de la viscosidad y turbidez de los geles, formación de geles, exudación de agua, precipitación de partículas de almidón insolubles y el incremento del grado de cristalinidad (Hoover *et al.*, 2010).

Con frecuencia se considera que la retrogradación del almidón tiene efectos indeseables debido a su importante contribución al envejecimiento del pan y otros alimentos ricos en almidón, lo que puede provocar una disminución en la vida útil y en la aceptación del consumidor, generando un desperdicio significativo, y por lo tanto

plantean retos importantes para los procesadores de alimentos (Wang *et al.*, 2015). Sin embargo, la retrogradación del almidón es deseable en algunas aplicaciones, como por ejemplo en la producción de cereales para el desayuno, arroz parbolizado y puré de papa deshidratado, debido a la modificación de las propiedades estructurales, mecánicas y sensoriales (Karim *et al.*, 2000). También es deseable en términos de importancia nutricional, debido a la digestión enzimática más lenta del almidón retrogradado y liberación moderada de la glucosa en el torrente sanguíneo (Wang *et al.*, 2015).

2.4.5.3.1. Factores que influyen en la retrogradación del almidón

La tendencia de retrogradación de los almidones, de diferentes orígenes botánicos, varía en gran medida y no parece depender únicamente de las proporciones de amilosa y amilopectina. La velocidad y grado de retrogradación de los almidones están influenciados principalmente por la composición y estructura del almidón, la concentración de almidón, el contenido de agua, las condiciones de almacenamiento, el pH, azúcares y lípidos (Ahmed *et al.*, 2012).

Eliasson, (2006) también menciona que la fuente botánica es de gran importancia para la retrogradación de los geles de almidón. Esto es cierto no sólo para los almidones con muy diferente contenido de amilosa, sino también para los almidones con contenidos de amilosa similares. Algunas de las diferencias entre, almidones de cereales se puede atribuir a las diferencias en la relación amilosa/amilopectina y el contenido de lípidos; sin embargo, estos factores representan sólo algunas de las diferencias. Tomasik, (2004) menciona que los almidones que constan de mayores concentraciones de lípidos y fosfolípidos también son conocidos por retrogradar más rápido, lo que podría ser atribuido a la dispersión limitada de almidón durante la cocción.

- Proporción de amilosa y amilopectina

La relación amilosa: amilopectina afecta a la cinética de retrogradación. La retrogradación de la amilosa es un proceso muy rápido, en efecto, la cristalización de la amilosa ya puede observarse unos minutos después de que se complete la gelatinización. Durante el enfriamiento del almidón gelatinizado la viscosidad aumenta, esto se atribuye a la retrogradación de la amilosa, por lo tanto, ésta puede ser necesaria para la formación de la estructura normal de un producto (Skibsted *et al.*, 2010).

Las moléculas de amilopectina con estructuras ramificadas, en general, se cristalizan más lentamente. La velocidad de retrogradación o cristalización de la amilopectina depende de la longitud de cadena ramificada. Las moléculas de amilopectina que tienen cadenas ramificadas largas, tales como almidón de maíz céreo, cristalizan más rápido que aquellos con cadenas de ramales cortos, tales como almidón de arroz céreo (Tomasik, 2004).

2.4.5.4. Viscosidad

La viscosidad de la pasta de un almidón es en gran medida la característica más importante de los almidones, pues determina a qué tipo de productos se puede aplicar. La estabilidad de la viscosidad durante su procesamiento es de suma importancia, pues el almidón deberá mantener su viscosidad durante los diferentes tratamientos térmicos o mecánicos que sufre la muestra durante su procesamiento. (Yufera, 2004).

El almidón muestra una viscosidad cuando se incrementa la temperatura en el momento de gelatinización. Cuando éste llega a su calentamiento, los gránulos crudos se gelatinizan, la viscosidad y adhesividad de la pasta se incrementa dramáticamente (Inou & Lepeutre, 2006).

Los cambios que conducen a la retrogradación restringen las propiedades funcionales del almidón haciéndolos menos deseables para los productos alimenticios. Hay varios factores que tienen diferentes responsabilidades en su retrogradación. El contenido de amilosa juega un papel importante y ocurre en el enfriamiento (Biliaderis & Zawistowski, 1990). El grado de retrogradación depende de la distribución de cadenas largas de amilopectina (Philpot *et al.*, 2006).

2.5. Almidón de quinua

En el laboratorio se busca aislar este componente en su forma nativa. El proceso de extracción tiene como objetivo obtener un almidón con alto grado de pureza, debiendo contener bajos contenidos de proteínas, lípidos, ceniza y fibra. El método de extracción a emplearse depende de la fuente de almidón; este debe evitar el daño mecánico o modificación de los gránulos (Gonzales, 2002).

Waterschoot *et al.* (2015), mencionan que la extracción de almidones de cereales es relativamente difícil debido a su alto contenido en proteínas y grasas, los cuales deben

ser eliminados. Por otro parte, menciona que la extracción de almidón de tubérculos de papa es relativamente sencilla debido a la estructura del tejido y su bajo contenido en proteínas y grasas.

En el grano de quinua el almidón se localiza en el perisperma y representa aproximadamente el 68 % de carbohidratos (Gandarillas, 1982). Así también Pumacahua *et al.* (2016), mencionan que la cantidad de almidón en algunas variedades de quinua varía entre 54.1 a 65.2 %, con un promedio de 61.4 %, el germen de la semilla presenta el 25 % del volumen total de la semilla y contiene casi toda la proteína y los lípidos; el embrión de la quinua contiene el 95 % de la proteína del grano total, por lo que, se supone que existe una mínima cantidad de proteínas en el endospermo. El almidón comprende alrededor del 60 % de la semilla de quinua y los gránulos de este tienen un diámetro de 1.5 a 2 μm . Su temperatura de gelatinización está entre los 65 °C y 67 °C (Ruales & Nair, 1994; Lindeboom *et al.*, 2005).

El tamaño de granulo afecta las características fisicoquímicas del almidón. El tamaño de granulo y forma son relacionadas con el origen botánico del almidón que es extraído. En general, el tamaño de granulo puede variar más de 1 μm o menos que 100 μm de acuerdo a Lindeboom *et al.* (2004), quien definió las siguientes clases de acuerdo al tamaño: largo (>25 μm), medio (10 -25 μm), pequeño (5-10 μm) y muy pequeños (<5 μm).

Los cereales tradicionales, como el trigo, el maíz y el arroz, presentan tamaños superiores a las 5 micras y pueden llegar hasta 40 μm o más (Badui, 2006). En el caso de la quinua los gránulos son muy pequeños, menores a 2 μm (Lindeboom *et al.*, 2005).

El almidón de quinua tiene muy pequeño tamaño de granulo y ha sido reportado de 1 -2 μm (Lorenz, 2006; Tari *et al.*, 2003). Mujica *et al.* (2016), mencionan que en la quinua los gránulos de almidón de las células del perisperma son poligonales y su tamaño varía entre 0.4 a 2.0 μm .

La proporción de amilosa y amilopectina es uno de los factores que determinan las propiedades industriales importantes de los almidones. En la mayoría de las plantas, el almidón consiste en 20-30 % amilosa. Los informes en la literatura sugieren que el contenido de amilosa en el almidón de quinua es de 7 a 27 %. (Tang, Watanabe, & Mitsunaga, 2002).

El almidón de quinua es soluble e hidrolizado en agua, no forman geles y se torna azul con yodo; sin embargo, estudios posteriores demuestran que la temperatura de gelatinización varía de acuerdo a las variedades de quinua entre los 55 °C y 72 °C. El almidón de quinua presenta diferentes curvas de empaste, si la relación viscosidad pasta alcanza 95 °C la cocción del almidón es difícil, además, la pasta de almidón a 95 °C de cocción no tiene estabilidad y continúa aumentando la viscosidad. La retrogradación del almidón producido por el enfriamiento de la pasta de 95 °C a 50 °C es mínima (Scarpatti & Briceño, 1980).

2.6. Usos del almidón

Los almidones nativos no son considerados como aditivos sino como ingredientes base de fabricación y la cantidad incorporada a los alimentos no está sometida a reglamentación, como es el caso de los almidones modificados, que han sido desarrollado a fin de responder las exigencias de los procesos industriales de fabricación (Gonzales, 2002).

Ahmed *et al.* (2012), mencionan que el almidón es reconocido como uno de los productos más abundantes e importantes que contienen atributos de valor agregado para un gran número de aplicaciones industriales. Su composición química, estructura, propiedades, y la susceptibilidad a diversos agentes químicos, físicos y modificaciones enzimáticas ofrecen un alto valor tecnológico que contribuye, enormemente, tanto a la industria de alimentos y productos no alimentarios. Los recientes avances en las tecnologías de procesamiento de almidón y de la manipulación genética para crear nuevas variedades de almidón que tienen funcionalidades útiles tuvieron un impacto profundo, nuevos productos se han desarrollado alrededor del almidón, utilizándolo como materia prima para alimentos, productos químicos, plásticos y combustibles.

Globalmente las características de un producto alimenticio terminado están determinadas por la procedencia del almidón, la temperatura de calentamiento, la concentración de almidón usada en una formulación y los otros componentes usados con el almidón, como el ácido y el azúcar. Hay muchos tipos de almidón y almidones modificados (Rivas, 2006).

Los almidones de quinua son pequeños granulo y pueden ser usados para producir una crema por su suave textura que exhibe propiedades similares a las grasas. O esto puede ser incorporado a en los biofilms (Lindeboom *et al* 2004).

Pumacahua *et al.* (2016), sostienen que el almidón residual tiene posibilidades especiales en la producción de aerosoles, pastas, producción de papel autocopiante, postres alimenticios, etc.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta piloto; Molienda, Laboratorios de Ingeniería de Alimentos; extracción de almidones, Laboratorio de Procesamiento de Productos Alimentarios; tamizado, centrifugación y contenido de amilosa y amilopectina de almidones, Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimento y Laboratorio de Microbiología; de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

El análisis reológico se realizó en el Laboratorio de Procesos Industriales y el análisis de microestructura en Centro de Caracterización de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

3.2. Materia prima

Se trabajó con cinco variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Illpa INIA, Altiplano, Kancolla, Rosado choclo Taraco, Salcedo INIA adquiridas del INIA-Puno, estas variedades son consideradas las más comerciales en el mercado local.

3.3. Equipos y materiales

3.3.1. Equipos

- Analizador de humedad electrónico sartorius MA30.
- Balanza analítica Metler- Toledo.
- Centrifuga HETTICH modelo EBA 20.
- Espectrofotómetro Genesys 20
- Analizador de humedad electrónico de la serie PMC 50, marca RAD WAG 26-600
- Estufa DHG-9023A, marca: ICSA
- Licuadora (Oster)
- Microscopio electrónico E-SEM
- Reómetro termo Fisher Scientific modelo iQ.
- Tamizador STM. AMME
- Termómetro de mercurio digital HANNA 150°C.

3.3.2. Materiales

- Fiolas de 50mL y 100mL.
- Matraces de 300mL y 750mL.
- Pipetas volumétricas de 0.5mL, 1mL, 5mL.
- Probetas de 100 mL y 250mL.
- Vasos precipitados de 20 mL, 80 mL, 100 mL y 200 mL.
- Mortero.

3.3.3. Reactivos

- Acetato de sodio ($C_2H_3NaO_2$) 1M.
- yoduro de potasio (KI) 99.9%.
- yodo 99.9 %.
- hidróxido de sodio (NaOH) SCHARLAW 99.9 %
- Ácido acético glacial (CH_3COOH) 99 %
- Etanol SIGMA-ALDRICH 95 %
- Amilosa 100% pura
- Óxido de calcio (CaO) 85 %
- cloruro de sodio (NaCl) 24 % de sodio

3.4. Metodología experimental

El presente trabajo se realizó en dos etapas:

- En la primera etapa se evaluó las propiedades reológicas de mazamorra de cinco variedades de quinua.
- Se evaluó las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos de cinco variedades de quinua.

3.4.1. Evaluación de las propiedades reológicas de mazamorra de cinco variedades de quinua

Durante esta etapa primero se obtuvo las harinas de las cinco variedades de quinua, segundo se elaboró y evaluó las mazamorra de quinua de las cinco variedades de quinua.

3.4.1.1. Metodología para la obtención de harina de quinua



Figura 4. Flujograma de obtención de harina de quinua.

Fuente: (Pajarito, 2005)

- a. **Selección.** La semilla no procesada trae consigo impurezas propias de la cosecha, entre las que se cuentan: restos de hojas, piedras, insectos, etc. la eliminación se realizó de forma manual.
- b. **Desaponificación y secado:** Se procedió a lavar la semilla con agua fría con el propósito de eliminar saponina. El primer enjuague se realizó para eliminar los restos de perigonio que aún permanece unido a la semilla. Se lavó sucesivas veces hasta que el agua ya no produjo espuma. La semilla húmeda se colocó en una bandeja, el secado se realizó en una estufa de aire forzado con circulación de aire a una temperatura de 50°C hasta alcanzar la humedad del 15%.
- c. **Molienda.** La molienda se realizó de forma manual en un molino de granos en el cual se obtuvo una harina con diferentes tamaños de partícula.
- d. **Tamizado.** La harina de quinua obtenida del proceso de molienda se tamizó con el objetivo de obtener harina de un mismo tamaño. El cual se realizó utilizando un juego de tamices de varios micrajes.

3.4.1.2. Metodología para la elaboración de mazamorra de quinua

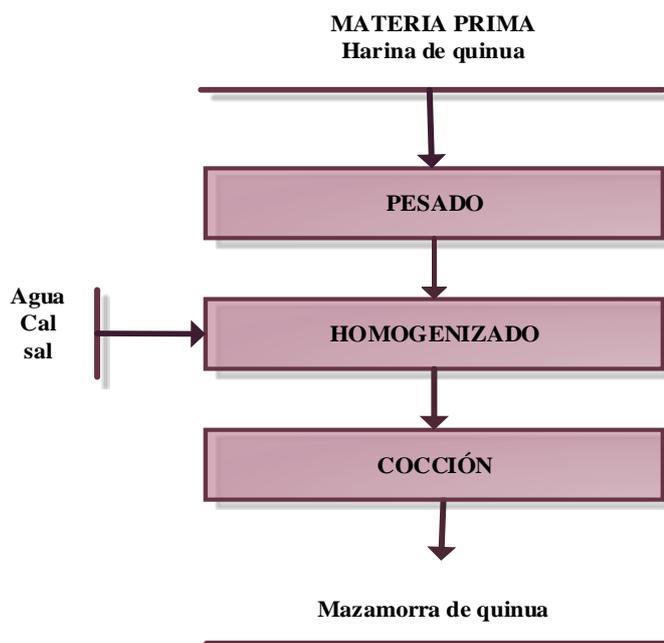


Figura 5. Flujograma de elaboración de mazamorra de quinua.

Fuente: Elaboración propia

- a. **Pesado.** Se pesó las cantidades (5%, 15% y 25%) de harinas de quinua; 0,07% de cal y 0,22 de sal para el proceso de elaboración de mazamorra de quinua.
- b. **homogenizado.** En esta operación se agregó y mezcló poco a poco la harina de quinua con el agua, cal y sal hasta que sea una mezcla homogénea.
- c. **Cocción.** En esta operación se realizó la cocción de la mazamorra.

3.4.2. Evaluación de las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos

Durante esta etapa primero se obtuvo los almidones de las cinco variedades de quinua, segundo se elaboró y evaluó los geles de almidones de cinco variedades de quinuas.

3.4.2.1. Metodología para la extracción de almidones de quinua

Los almidones de las cinco variedades de quinua (Ilpa INIA, Altiplano, Kancolla, Rosado choclo Taraco, Salcedo INIA) fueron obtenidos por el método vía húmeda.

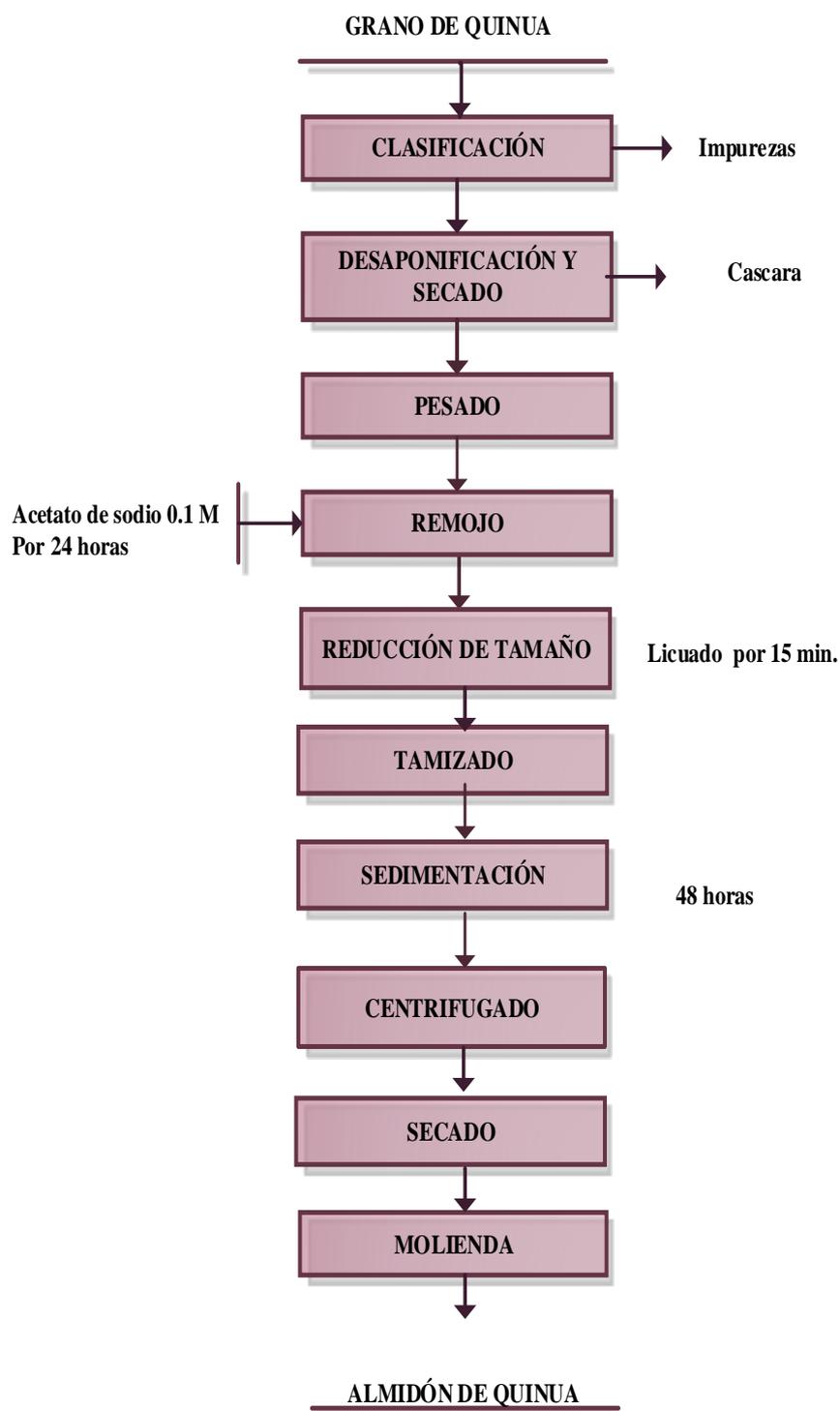


Figura 6. Flujograma de extracción de almidón de quinua.

- a. **Clasificación.** En esta etapa se realizó la clasificación de grano, además se procedió a la separación de materiales extraños.
- b. **Desaponificación y secado:** Se procedió a lavar la semilla con agua fría con el propósito de eliminar saponina. El primer enjuague se realizó para eliminar los restos de perigonio que permanecían unido a la semilla. Se lavó sucesivas veces hasta que el agua ya no produjo espuma. La semilla húmeda se colocó en una bandeja, el secado se realizó en una estufa de aire forzado con circulación de aire a una temperatura de 50°C hasta alcanzar la humedad del 15%.
- c. **Remojo.** Se dejó remojando por un tiempo de 24 horas en agua destilada en relación 1:3 (semilla: agua) con el objetivo de que el grano de quinua capte el agua, y este sea ablandado. En esta operación se cubrió los granos de quinua y se eliminó el agua de remojo.
- d. **Reducción de tamaño.** Se realizó esta operación con la finalidad de romper la unión entre el embrión y el endospermo. Consiste en someter cantidades de quinua a una desintegración a través de una licuadora doméstica, esta operación tendrá un tiempo de 15 min. Se adiciono agua en una proporción de 2:1 con respecto a la cantidad de quinua remojada.
- e. **Tamizado.** Se permitió el paso de la suspensión del almidón utilizando una malla de diámetro de 124 μm .
- f. **Sedimentación.** Se realizó esta operación con la finalidad de separar el almidón del agua, se dejó sedimentar por 48 horas, luego se eliminó el agua existente, quedando la pasta del almidón lista para ser secada.
- g. **Centrifugación.** Se realizó esta operación con la finalidad de separar el almidón de otras sustancias a 2000 RPM x 15 min.
- h. **Secado.** Se realizó con la finalidad de que el almidón elimine el agua existente, se colocó la pasta de almidón en una estufa a una temperatura de 40°C.
- i. **Molienda.** Se efectuó en el mortero hasta lograr que los tamaños de los gránulos de almidón sean mínimos.

3.4.2.2. Metodología para la obtención de gel de almidón de quinua

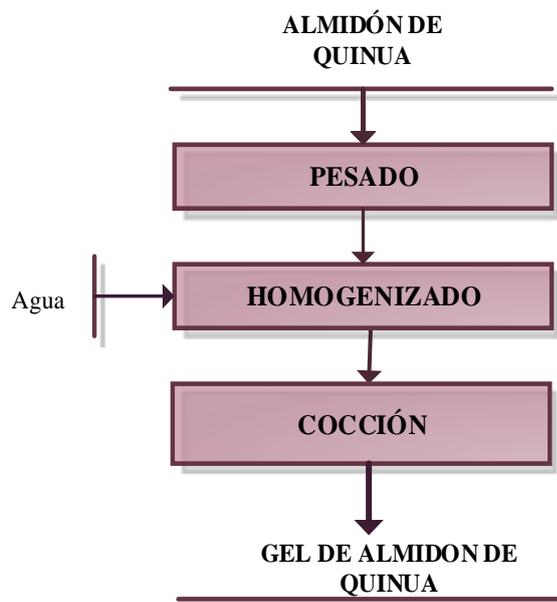


Figura 7. Flujograma para la obtención de gel de almidón de quinua.

Fuente: elaboración propia

- a. **Pesado.** Se pesó las cantidades de (5%, 15% y 25%) de almidones para el proceso de elaboración de gel de almidón de quinua.
- b. **homogenizado.** En esta operación se agregó agua y luego se mezcló poco a poco hasta que sea una mezcla homogénea.
- c. **Cocción.** En esta operación se sometió a temperaturas de 20 a 90° C para que se forme el gel de almidón de quinua.

3.5. Métodos de análisis

3.5.1. Análisis reológico de mazamorra y almidones de quinua

Las mazamorra y almidones son sometidas a condiciones de calentamiento con la finalidad de contar con una medición precisa del proceso de empaste, a lo cual es utilizada una técnica de reometría rotacional.

La preparación de las muestras de almidones y de mazamorra, se realizaron utilizando un reómetro, Termo Fisher Scientific modelo iQ. Como resultado se obtiene curvas del proceso de empaste durante el calentamiento y enfriamiento.

Se prepararon las muestras de mazamoras y almidones a 75 %, 85 % y 95 % de agua, se calentó a una velocidad de termostatación de 6°C/min. hasta llegar a una temperatura de 90 °C se mantuvo a 90 °C por 5 minutos (etapa de cocción) y luego se enfrió a 6 °C/ min. la velocidad de rotación seleccionada durante el test fue de 160 rpm. (Cespedes, 2008).

3.5.2. Determinación de rendimiento de almidones extraídos

El rendimiento del almidón, es la fracción (%) que resulta después de cada operación unitaria; iniciando con la recepción de la materia prima. Para esto se realizó los siguientes cálculos.

$$R = \frac{\text{g de solidos obtenidos experimentalmente}}{\text{g de quinua}} \times 100 \quad \text{Ecuación.....1}$$

3.5.3. Evaluación de la forma y tamaño de los almidones

Para la observación de la estructura granular se empleó campo oscuro y luz intensa, una pequeña porción de almidón fue distribuida en el centro de la lámina cubre objetos se le añadieron 2 a 3 gotas de agua destilada y con la ayuda de una lámina cubre objetos se espacio la muestra almidón agua hasta que adquirió el tamaño adecuado para ser cubierta la lámina cubre objetos, cuidadosamente evitando la formación de burbujas de aires (Blaszczak *et al.*, 2003)

3.5.4. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina

Este análisis se llevó a cabo de acuerdo con el método establecido en la norma ISO 6647 (ISO, 2007) que consistió en una medición espectrocolorimétrica del complejo yodo- amilosa que se forma al hacer reaccionar los gránulos de almidón dispersados y gelatinizados. El procedimiento constó de varias etapas que se describen a continuación

Preparación de las suspensiones madre de amilosa y amilopectina: la suspensión estándar de amilosa se preparó tomando 100 ± 5 mg de amilosa purificada y se adicionó cuidadosamente 1 mL de etanol 95%. Luego se añadió 9 mL de NaOH 1 M y se mezcló. Se calentó la solución en baño maría durante 10 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente y, finalmente, se aforó el sistema con agua destilada hasta 100 mL. La

suspensión estándar de amilopectina se preparó de igual manera que con la amilosa. Estas soluciones presentaron una concentración final de 1 g / L, cada una.

Preparación de la curva de calibración: las soluciones patrón se prepararon mezclando volúmenes de las suspensiones estándar de amilosa y amilopectina, y de solución NaOH 0.09 M de acuerdo con la Tabla 7.

Se tomó una alícuota de 5mL de cada estándar en una serie de balones de 100 mL, cada uno con aproximadamente 50 mL de agua. Se añadió 1 mL de ácido acético 1 M y se mezcló el sistema. A continuación, se adicionó 2 mL de solución de yodo (2 g de KI + 0,2 g de I₂ aforados hasta 100 mL), se completó el volumen con agua destilada y se mezcló. Se dejó reposar durante 10 minutos.

Tabla 7. Soluciones estándar para la curva de calibración.

FMA %	Amilosa (mL)	Amilopectina (mL)	NaOH 0,09 M (mL)
0	0	18	2
10	2	16	2
20	4	14	2
25	5	13	2
30	6	1	2
35	7	11	2

Fuente: (ISO 6647, 2007)

El blanco se preparó siguiendo el mismo procedimiento y las mismas cantidades de todos los reactivos, pero con 5,0 ml de NaOH 0,09 mol / L en lugar de las suspensiones de amilosa y amilopectina. Finalmente, se midió la absorbancia a 720 nm frente a la solución del blanco utilizando un espectrofotómetro UV- Visible. Las lecturas de concentración se reportaron como fracción másica de amilosa, expresada como porcentaje en base seca.

Preparación de la muestra problema y determinación del contenido amilosa-amilopectina: se pesó $100 \pm 0,5$ mg de la muestra de almidón, previamente desengrasada por reflujo con metanol. Se adicionó 1 mL de etanol 95% y 9 mL de NaOH 1,0 M; se mezcló el sistema. A continuación, se calentó la mezcla en un baño maría durante 10 minutos para dispersar el almidón. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se transfirió

a un balón aforado de 100 mL. Se enrasó el volumen con agua destilada y se mezcló vigorosamente. A continuación, se realizó el mismo tratamiento que con las soluciones estándar comenzando con la alícuota de 5 mL de la suspensión anterior.

Se midió la absorbancia de la muestra problema a 720 nm frente a la solución del blanco que se preparó en el procedimiento anterior, utilizando el espectrofotómetro y se determinó el porcentaje de amilosa en base seca con base en la absorbancia leída. El porcentaje de amilopectina se dedujo teniendo en cuenta que el porcentaje restante corresponde a dicho componente.

3.6. Análisis estadístico

El presente trabajo de investigación, se utilizó un DCA (diseño completo al azar) bajo el experimento factorial, con tres repeticiones por tratamiento y su variabilidad mediante el coeficiente de variabilidad. Asimismo, se realizó un análisis de varianza con la finalidad de determinar si existe una diferencia significativa entre tratamientos, y la prueba de comparación múltiple para precisar la diferencia entre tratamientos, la cual se realizó con el software Statgraphics plus 16.1.

3.6.1. Evaluación de las propiedades reológicas de mazamorra de cinco variedades de quinua

Se evaluó la influencia de las cinco variedades de quinua (Altiplano, Illpa INIA, Kancolla, Rosado choclo Taraco y Salcedo INIA); y tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %) en el tiempo de empaste, temperatura de empaste y viscosidad pico de las muestras obtenidas, usando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5A x 3B x 3 repeticiones.

▪ Variables de Estudio

- **Variable de estudio A: Mazamorra formuladas con harinas de cinco variedades de quinua**

Mazamorra de la variedad Altiplano

Mazamorra de la variedad Illpa INIA

Mazamorra de la variedad Kancolla

Mazamorra de la variedad Rosado Choclo Taraco

Mazamorra de la variedad Salcedo INIA

- **Variable de estudio B: contenidos de agua**

- 75 % de agua

- 85 % de agua

- 95 % de agua

- **Variable de respuesta**

- Tiempo de empaste

- Temperatura de empaste

- Viscosidad pico

Para la comparación se utiliza una prueba Tukey con un 95% de nivel de confianza cuando se detectó diferencia significativa.

3.6.2. Evaluación de las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedad reológicas de almidones

Se evaluó el comportamiento de las características físicas, contenido de amilosa y amilopectina de cinco variedades de almidones de quinua (Altiplano, Illpa INIA, Kancolla, Rosado Choclo Taraco y Salcedo INIA) utilizando DCA con un solo factor; Para la evaluación del comportamiento reológico se usó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5A x 3B x 3 repeticiones.

- **Variable de estudio. variedades**

- Altiplano

- Illpa INIA

- Kancolla

- Rosado Choclo Taraco

- Salcedo INIA

- **Variable de respuesta**

- Rendimientos

- Amilosa y amilopectina

- Tiempo de empaste

- Temperatura de empaste

- Viscosidad pico

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades de empaste de mazamorra formuladas con harinas de quinua

Las mazamoras evaluadas fueron formuladas con harina de cinco variedades de quinua, cal y sal. Las concentraciones de harinas fueron de 5%, 15 % y 25%, la cantidad de cal fue 0.07 % y la sal fue 0.22% estos dos insumos fueron las mismas para todas las muestras.

En la Figura 8, se puede apreciar las curvas de empaste de mazamoras de cinco variedades de quinua, donde T en °C, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de las curvas de empaste obtenidas en una suspensión al 75 % de agua.

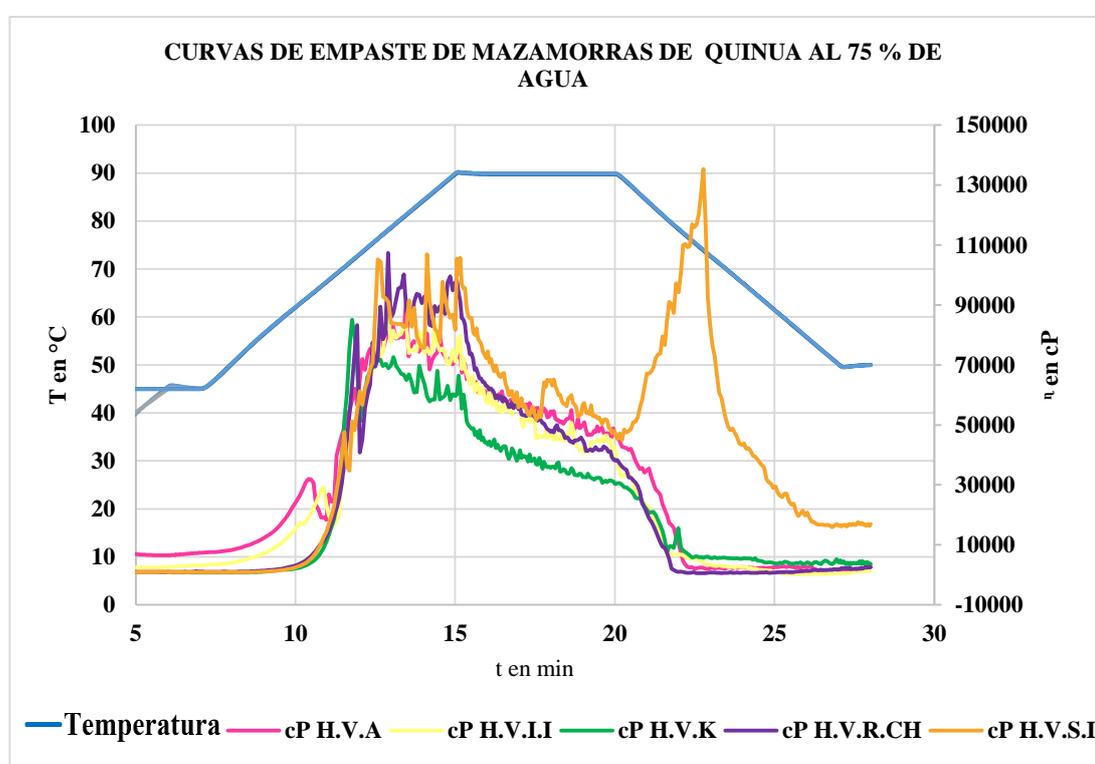


Figura 8. Curva de empaste de mazamoras de quinua al 75% de agua.

Tabla 8. Características de empaste de mazamorras de cinco variedades de quinua al 75 % de agua.

VARIETADES DE MAZAMORRAS DE QUINUAS	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)
Altiplano	11.045218	67.692101	91504.3594
Ilpa INIA	11.450833	69.982811	87837.8125
Kancolla	11.290884	69.004631	85041.5
Rosado Choclo	11.370067	69.465996	107385.719
Salcedo INIA	11.210618	68.650108	105175.148

En la Figura 9, se puede apreciar las curvas de empaste de mazamorras de cinco variedades de quinua, donde T en °C, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de las curvas de empaste obtenidas en una suspensión al 85 % de agua.

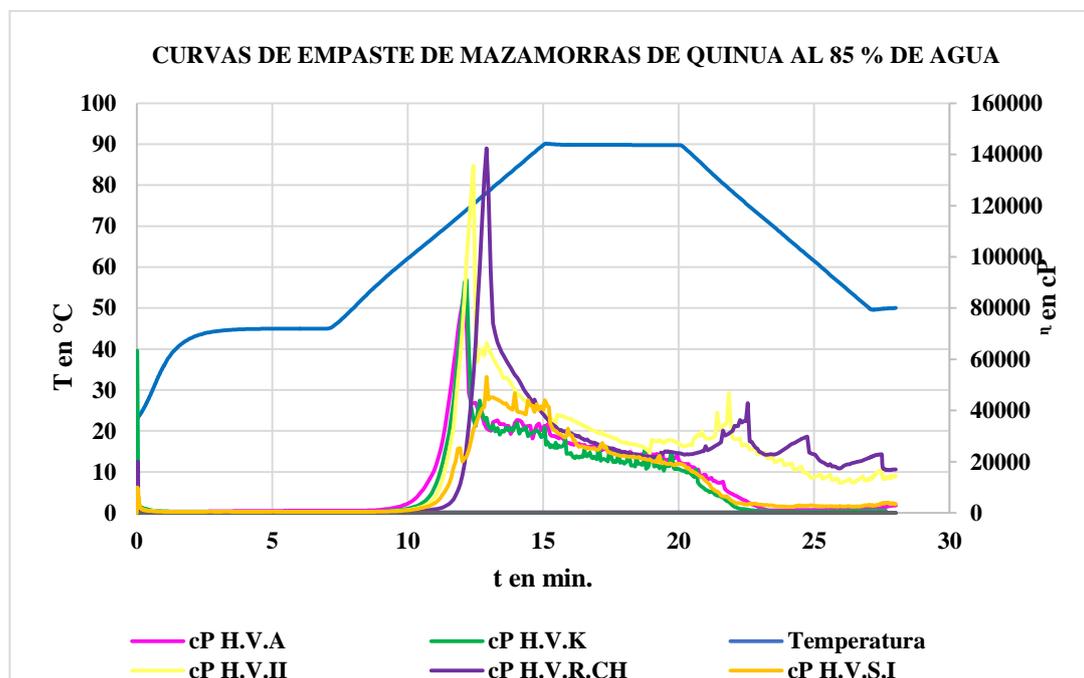


Figura 9: Curva de empaste de mazamorras de quinuas al 85 % de agua.

Tabla 9. Características de empaste de mazamoras de cinco de variedades de quinua al 85 % de agua.

VARIEDADES DE MAZAMORRAS DE QUINUA	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)
Altiplano	11.04915	67.737358	70271.0078
Illpa INIA	11.369667	69.415489	135488.516
Kancolla	11.208267	68.626091	90983.6719
Rosado Choclo	11.369684	69.434044	142383.703
Salcedo INIA	11.206468	68.575829	53138.5859

En la Figura 10, se puede apreciar las curvas de empaste de mazamoras de cinco variedades de quinua, donde T en °C, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de las curvas de empaste obtenidas en una suspensión al 95 % de agua.

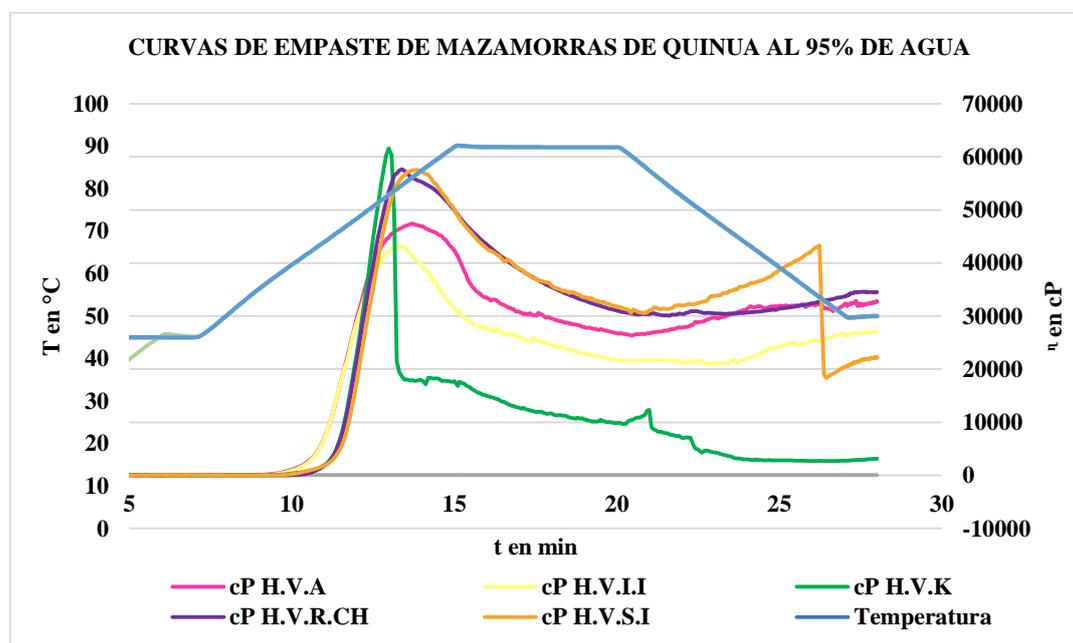


Figura 10: Curva de empaste de mazamoras de quinuas al 95 % de agua.

Los gránulos de almidón presentes en las harinas quinua absorben agua mientras son calentados y comienzan a hincharse, este proceso se puede observar en las Figuras 8,

9 y 10 el aumento de viscosidad (cP) que está relacionado con el tiempo (min.) y temperatura (°C).

Tabla 10. Características de empaste de mazamorras de cinco variedades de quinua al 95 % de agua.

VARIEDADES DE MAZAMORRAS DE QUINUA	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)
Altiplano	11.126451	68.107445	47457.6016
Illpa INIA	11.367218	69.509575	43158.6094
Kancolla	11.127684	68.138542	61589.2031
Rosado Choclo	11.289834	69.002922	57665.8203
Salcedo INIA	11.129967	68.208916	57575.2773

En las Figuras 8, 9 y 10 se observó las propiedades de empaste de las mazamorras de cinco variedades de quinuas a tres concentraciones de agua (75 %, 85 % y 95 %), se mostró la mayor y menor temperatura de empaste la cual es de (67.5 - 70 °C) para un contenido de agua de 75 %, (67,5 – 69,5 °C) para un contenido de agua de 85 % y (68-69 °C) para un contenido de agua de 95 %; en cambio, el mayor tiempo de empaste es de 11.45 min. y el menor es de 11.04 min para 75% de agua. o sea, el proceso de empaste guarda una relación directa entre temperatura, tiempo y variedades de mazamorras de quinuas. Además, La viscosidad pico es de (85041.5- 107385.719 cP) para un contenido de agua de 75 %, (70271.0078 - 142383.703 cP) para un contenido de agua de 85 %, (43158.6094- 61589.2031 cP) para un contenido de agua de 95 %.

En la Figura 11, se muestra la variación de tiempo de empaste para cada variedad de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

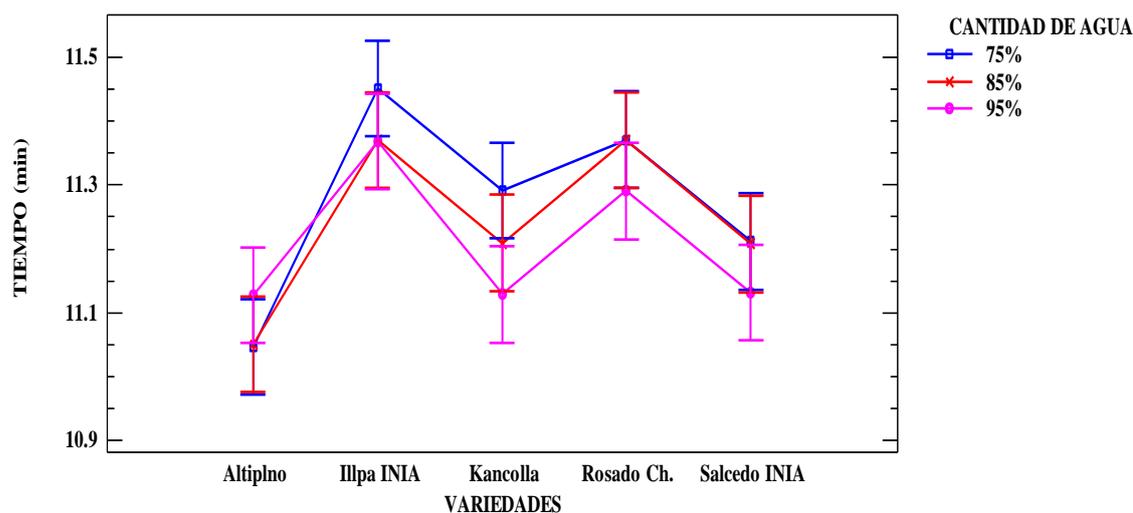


Figura 11: Tiempo de empaste para las mazamorras de las cinco variedades de quinua

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA 1) (descrita en el anexo A, cuadro A2) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre el tiempo de empaste, por motivo de estimar la variedad con mejor tiempo de empaste se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo A, cuadro A3 y A4) donde observamos que son diferentes entre grupos.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la influencia de la variedad de quinua sobre el tiempo de empaste, podemos observar que el tiempo de empaste es menor para las variedades Altiplano, pero diferentes para las variedades Salcedo INIA que el tiempo de empaste se encuentra en un intermedio, la variedad Rosado choclo Taraco y Illpa INIA es la que se diferencia más ya que el tiempo de empaste es elevado.

En la figura 12, se muestra la variación de temperatura de empaste para cada variedad de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

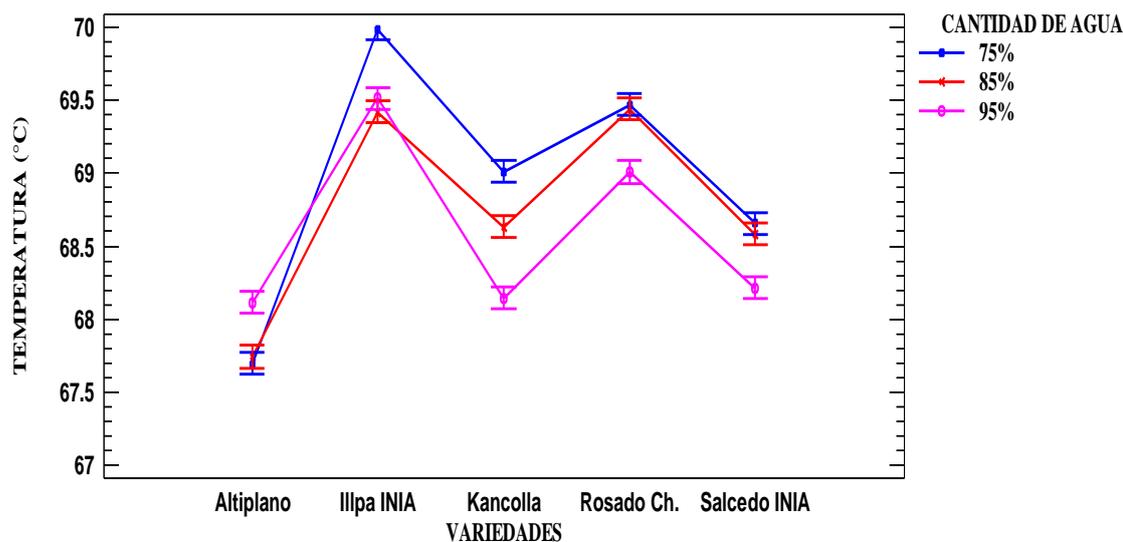


Figura 12: Temperatura de empaste para las mazamoras de las cinco variedades de quinua.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo A, cuadro A5) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre la temperatura de empaste, por motivo de estimar la variedad con mejor comportamiento mejor tiempo de empaste se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo A, cuadro A6 y A7) donde observamos que al menos uno difiere entre grupos.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la variedad sobre la temperatura de empaste, nos muestra una diferencia entre variedades. Teniendo la menor temperatura empaste la variedad Altiplano y la mayor temperatura la variedad Illpa INIA.

En la Figura 13, se muestra la variación de viscosidad pico de empaste para cada variedad de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

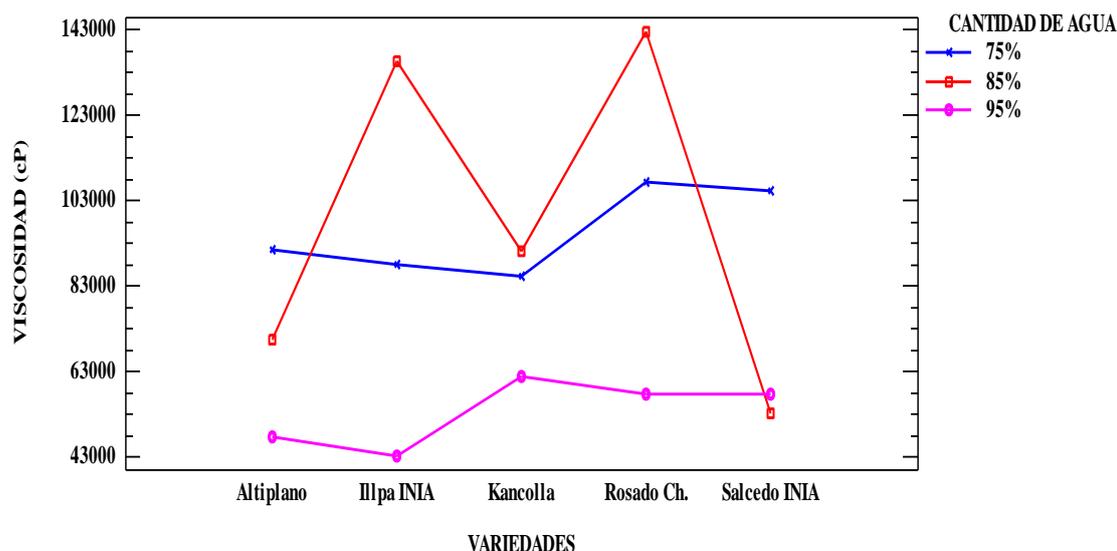


Figura 13: Viscosidad pico para las mazamoras de cinco variedades de quinua.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo A, cuadro A8) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre la viscosidad pico, por motivo de estimar la variedad con mejor comportamiento mejor viscosidad se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo A, cuadro A9 y A10) donde observamos que difieren entre grupos.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la variedad sobre la viscosidad pico, es menor para las variedades Altiplano y mayor para la variedad Rosado choclo Taraco.

En la Figura 13 se observa las viscosidades de mazamoras formuladas con harinas de quinua, tras realizar la evaluación estadística se determinó que la diferencia entre medias de viscosidades es significativa. Esta variación se debe al contenido de almidón y la relación amilosa y amilopectina (Romero & Tuiran, 2017). El contenido de carbohidratos para la harina de quinua cruda es 73.8 g/100 gramos de muestra seca (Tovar *et al.*, 2017).

Como se observa en la Figura 14 los rendimientos de almidones de los granos de quinua están relacionados con las viscosidades pico.

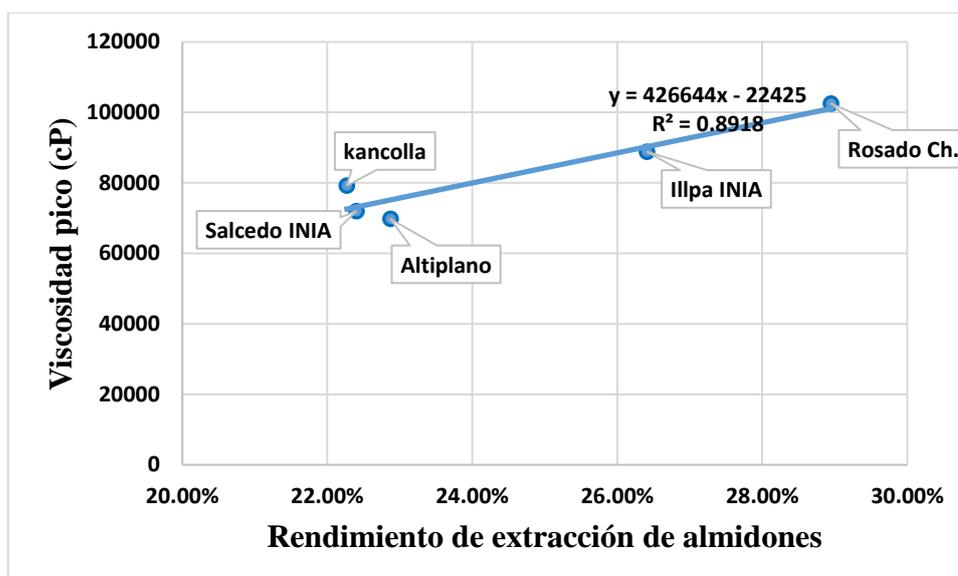


Figura 14. Relación de la viscosidad pico y el contenido de almidón de cada variedad de quinua

Las propiedades de empaste (viscosidad pico) está influenciada por el contenido de almidón que tiene cada variedad de quinua como se observa en la Figura 14. Quintero *et al.* (2012) nos indican que una de las causas sobre el comportamiento de las propiedades de empaste son otros componentes como almidón, celulosa, proteínas, lípidos y taninos que se encuentran presentes en las harinas. Por lo cual las harinas tienen menor viscosidad que los almidones. También se puede decir que las propiedades de formación de pastas son influidas por la cantidad de componentes lixiviados de almidón (amilosa), por el contenido de lípidos presentes en el almidón y por la magnitud de la interacción entre las cadenas dentro del gránulo de almidón (Liu *et al.*, 2010). Diversos estudios han reportado que la cantidad de componentes no amiláceos (que no conforman o son parte del almidón, como la amilosa y la amilopectina), como son los tipos de fibra, pueden influir en el comportamiento final del perfil de formación de pastas (Doublier *et al.*, 198; Kaur & Singh, 2007).

Con relación a algunas propiedades de almidones y la importancia de estos en el desarrollo de productos tipo sopa instantánea, menciona que almidones que presentan mayor contenido de amilopectina que de amilosa, alcanzan la temperatura de empaste en menos tiempo, con una tendencia menor a retrogradar (Hung & Morita, 2005), lo cual representa una estabilidad favorable de los geles en los productos finales (Jayakody *et al.*, 2005), resultando temperaturas bajas para almidones de arracacha (60 °C). Mélo *et al.*

(2003) indican que requieren menor cantidad de energía para su cocción y por ende se considera ideal para la obtención de un producto instantáneo y comercial.

En las Figuras 11 y 12 se observa que la variedad Altiplano tiene tiempos de empaste y temperatura de empaste mínimos del cual se puede decir que las harinas de variedad Altiplano tiene la facilidad de cocción. La diferencia del comportamiento de empaste de las mazamoras formuladas con harinas de diferentes variedades de quinua refleja las diferencias en comportamiento de cocción y contribuye a explicar las diferencias entre variedades de quinua.

4.2. Características físicas, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas de almidones extraídos de cinco variedades de quinuas

4.2.1. Rendimiento de la extracción de almidones de cinco variedades de quinuas

El rendimiento de los almidones, es la fracción (%) que resulta después de cada operación unitaria; iniciándose con la recepción de la materia prima al 100 %; los resultados se reportan en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Rendimiento de almidones extraídos de cinco variedades de quinuas

VARIETADES DE QUINUA	RENDIMIENTO (%)
Altiplano	22.87
Ilpa INIA	26.41
Kancolla	22.3
Rosado Choclo	28.95
Salcedo INIA	22.4

En la Tabla 11 muestra los rendimientos en porcentajes de los almidones extraídos de cinco variedades de quinua: Altiplano, Ilpa INIA, kancolla, Rosado choclo Taraco y Salcedo INIA. Se puede observar que el rendimiento para cada variedad es diferente esto debido a las propiedades físico-químicas de grano de quinua, también al método de extracción utilizado.

En la Figura 15, se puede observar el rendimiento en la extracción de almidón para cada variedad de quinua. demostrándose que para cada variedad el rendimiento es diferente. Además, se observa el mayor rendimiento para la variedad Rosado choclo Taraco

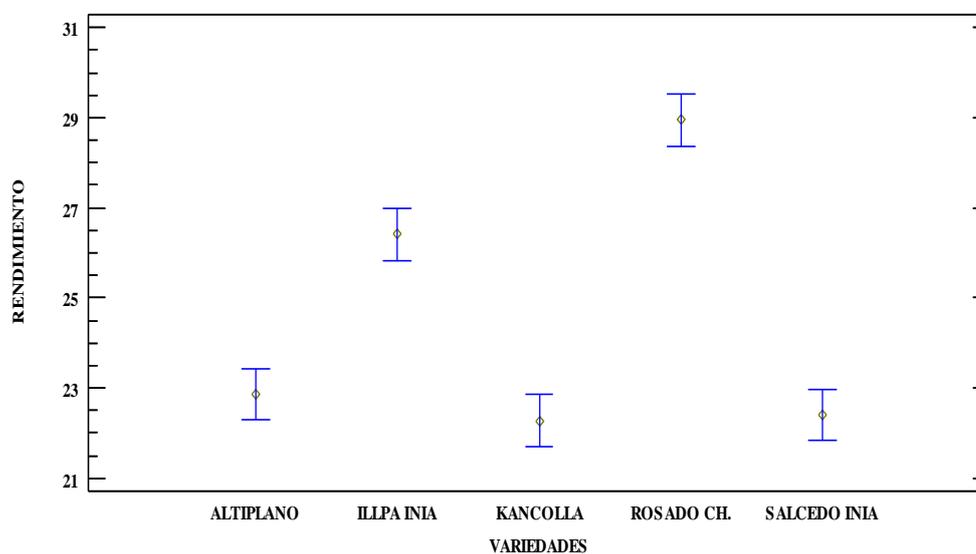


Figura 15: Rendimientos para cada variedad de almidón de quinua

El análisis de varianza de los rendimientos de almidones extraídos de cinco variedades de quinua (Anexo B) se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre variedades.

El rendimiento para la variedad Rosado choclo Taraco es de 28.95 %, para la variedad Illpa INIA 26.41 %, Altiplano 22.87 %, Salcedo INIA 22.40 % y por último la variedad Kancolla 22.27 %. Ortega, (2008) presenta resultados similares donde el rendimiento es de 25.70% para el almidón de quinua del ecotipo Mata Redonda, también (Arzapalo, Huaman, Quispe, & Espinoza, (2015) indica que el mayor rendimiento es 30.62 % en la variedad blanca Junín, seguida por variedad Pasankalla con 26.71 %; mientras variedad negra Collana obtuvo el mínimo 18.95 %. Aunque se muestra una ligera variación con respecto a lo reportado por Matos, (2011) quien determino los rendimientos de los almidones de tres variedades de quinua, Pasankalla (18.25 %), Salcedo INIA (47.39 %) y Kancolla (38.46 %). Los almidones se diferencian unos de otros por la forma y el tamaño de su grano, las proporciones respectivas de cadenas de amilosa y amilopectina, que condicionan sus propiedades físicas, y por el proceso utilizado para su extracción (Jeantet *et al.*, 2010).

Waterschoot *et al.* (2015) mencionan que la extracción de almidones de cereales es relativamente difícil debido a su alto contenido en proteínas y grasas, los cuales deben ser eliminados. Por otra parte, menciona que la extracción de almidón de tubérculos de papa es relativamente sencilla debido a la estructura del tejido y su bajo contenido en proteínas y grasas.

4.2.2. Microestructura de almidones de quinua

En la Figura 16 se muestra los gránulos de almidones de variedades Altiplano, Illpa INIA, Kancolla, Rosado choclo Taraco y Salcedo INIA.

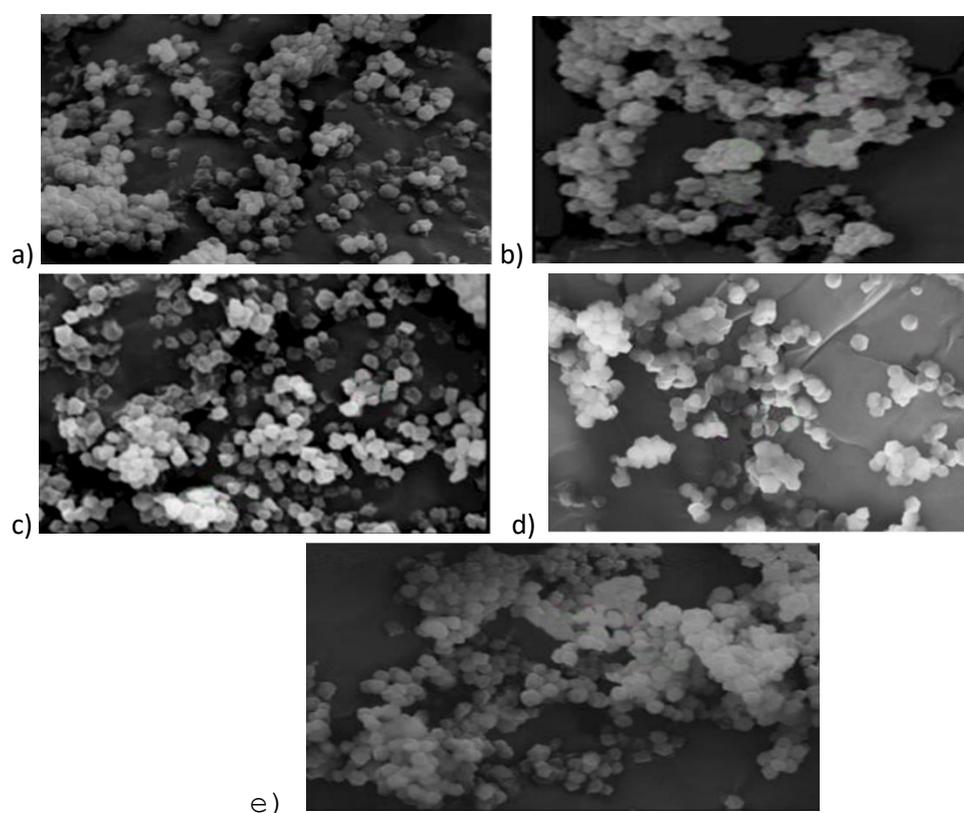


Figura 16. Microestructura de los almidones de cinco variedades de quinua. **a) A.V.A.** **b) A.V.K.** **c) A.V.I.I.** **d) A.V.R.CH.T.** **e) A.V.S.I.**

En las micrografías a, b, c, d y e se observan los gránulos de almidón de cinco variedades de quinua extraído por el método molienda húmeda. El tamaño y la forma de los gránulos, dependen mucho de la fuente botánica de la cual se obtuvieron.

En este estudio los gránulos de almidón de quinua, muestran una forma poligonal irregular y su tamaño aproximado es de 1 a 2 μm para las cinco variedades de quinua estas características son similares a las reportadas por Lindeboom *et al.* (2004) indicando

que el tamaño del granulo afecta las características fisicoquímicas del almidón. El tamaño de granulo y forma son relacionadas con el origen botánico del almidón que es extraído. En general, puede variar más de $1\mu\text{m}$ o menos que $100\mu\text{m}$ también definieron las siguientes clases de acuerdo al tamaño: largo ($>25\mu\text{m}$), medio ($10-25\mu\text{m}$), pequeño ($5-10\mu\text{m}$) y muy pequeños ($<5\mu\text{m}$). de similar manera Lorenz, (2006) indica que el almidón de quinua tiene muy pequeño tamaño de granulo y ha sido reportado de $1-2\mu\text{m}$.

4.2.3. Contenido de amilosa y amilopectina

El contenido de Amilosa es un importante criterio en la determinación de las propiedades del almidón, por su estrecha relación con las características reológicas en cuanto a su firmeza sinéresis y retrogradación del gel obtenido. La Tabla 12 nos muestra los valores en cuanto al contenido de amilosa y amilopectina en los almidones obtenidos según la variedad de quinua del que provienen.

Tabla 12. Contenido de amilosa y amilopectina de las cinco variedades de almidones de quinuas.

VARIETADES DE ALMIDONES DE QUINUA	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)
Altiplano	8.59	91.41
Illpa INIA	10.32	89.68
Kancolla	10.12	89.88
Rosado choclo	9.11	90.89
Salcedo INIA	7.99	92.01

En la Figura 17, se puede observar el contenido de amilosa para cada variedad de almidones de quinua, demostrándose que para cada variedad el contenido de amilosa es diferente además se observa que la variedad con mayor contenido de amilosa es la variedad Illpa INIA y la variedad con menor contenido de amilosa es la variedad Salcedo INIA.

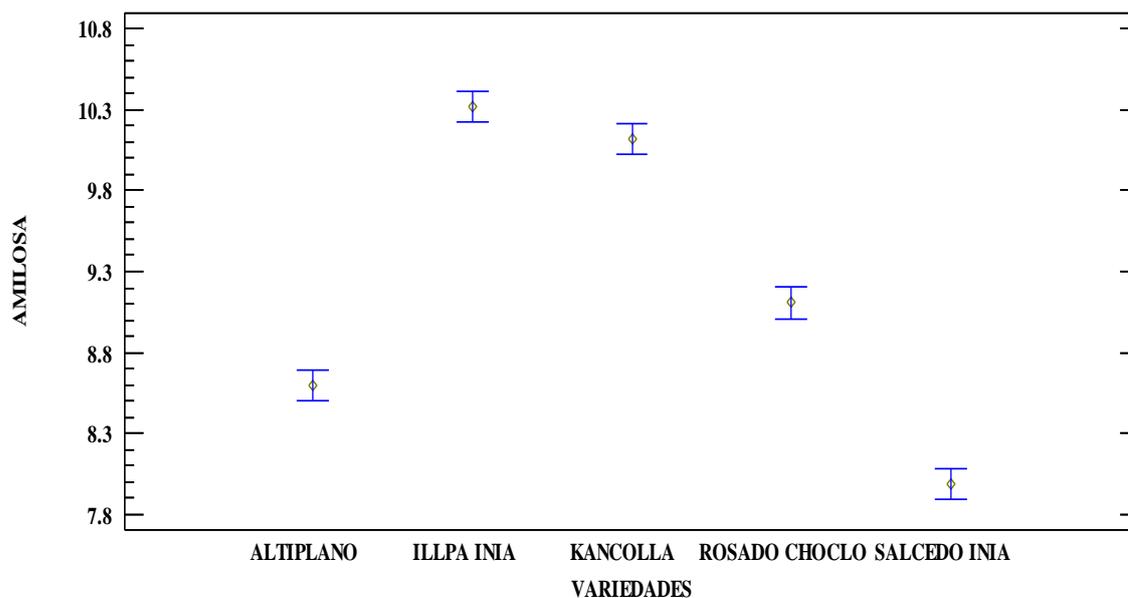


Figura 17: Contenido de amilosa por variedad de almidón de quinua.

El análisis de la varianza del contenido de Amilosa (ANEXO D cuadro D2) en los grupos establecidos por la variable variedad nos indica que si existe diferencia significativa al 0.05 % de significancia.

El contenido de amilosa de los almidones extraídos de cinco variedades de quinua oscila aproximadamente entre 7.99 % a 10.32 %, teniendo como menor contenido de amilosa la variedad Salcedo INIA y el mayor contenido de amilosa la variedad Illpa INIA.

Watanabe *et al.* (2007) nos indican que el contenido de amilosa en el almidón de quinua varía de 3 % a 20 %. Además, la proporción de amilosa y amilopectina es uno de los factores que determinan las propiedades industriales importantes de los almidones. El contenido de amilosa en el almidón de la quínoa es de 7 a 27% (Tang *et al.*, 2002).

En general, la relación de amilosa y amilopectina dependen fuertemente de su origen botánico. Los almidones regulares contienen aproximadamente 70-80 por ciento de amilopectina y 20-30 por ciento de amilosa, almidones céreos menos del 10 por ciento de amilosa y almidones de alta amilosa más de 40 por ciento de ésta (Tester *et al.*, 2004) citados por (Schirmer *et al.*, 2015).

La amilopectina es una de las moléculas largas en la naturaleza han reportado muy pocos resultados en el peso molecular de amilopectina de cereales por que los almidones de cereales son difíciles de disolver en agua y también son fácilmente degradables. En la

literatura la amilosa es directamente determinable pero la amilopectina solo por diferencia. En los almidones de quinua el contenido de amilopectina según Tari *et al.* (2003) es 77.5%. el contenido de amilopectina del almidón de quinua es una fracción alta en comparación con algunas variedades de arroz (Tukomane & Varavinit, 2008).

En los resultados obtenidos el contenido de amilopectina varia de 89.68 % a 92.01 % en los almidones extraídos de cinco variedades de quinua.

4.2.4. Propiedades de empaste de los almidones de quinua

El comportamiento de empaste es muy importante para la caracterización de los almidones y sus aplicaciones.

En la Figura 18, se observa las curvas de empaste de almidones de quinua donde T en $^{\circ}\text{C}$, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de la curva de empaste obtenidas en una suspensión de 75 % de agua.

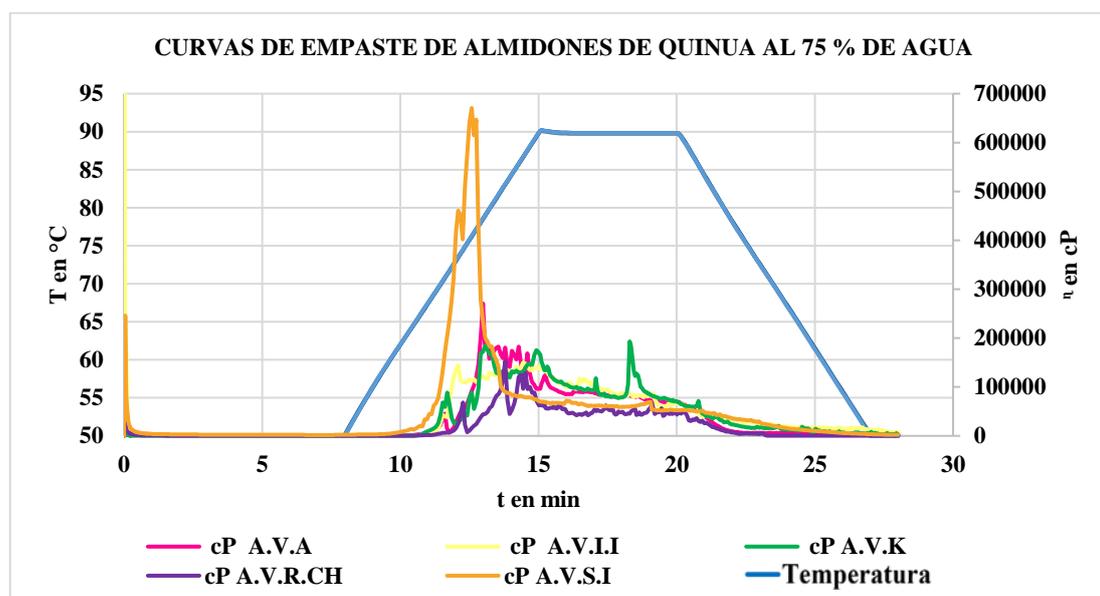


Figura 18: Curva de empaste de almidones de quinuas al 75 % de agua.

Tabla 13. Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 75 % de agua.

VARIETADES DE ALMIDONES DE QUINUA	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)	ESTABILIDAD (cP)
Altiplano	11.52875	70.315819	270854.281	267673.121
Illpa INIA	11.448768	69.908043	144598.547	137198.229
Kancolla	11.209101	68.602684	184352.781	181129.703
Rosado choclo	12.180285	73.979454	152802.625	152159.092
Salcedo INIA	10.884201	66.845573	670647.625	668493.386

En la Figura 19, se puede apreciar en las curvas de empaste de los almidones de cinco variedades de quinua, donde T en °C, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de la curva de empaste obtenidas en una suspensión de 85 % de agua.

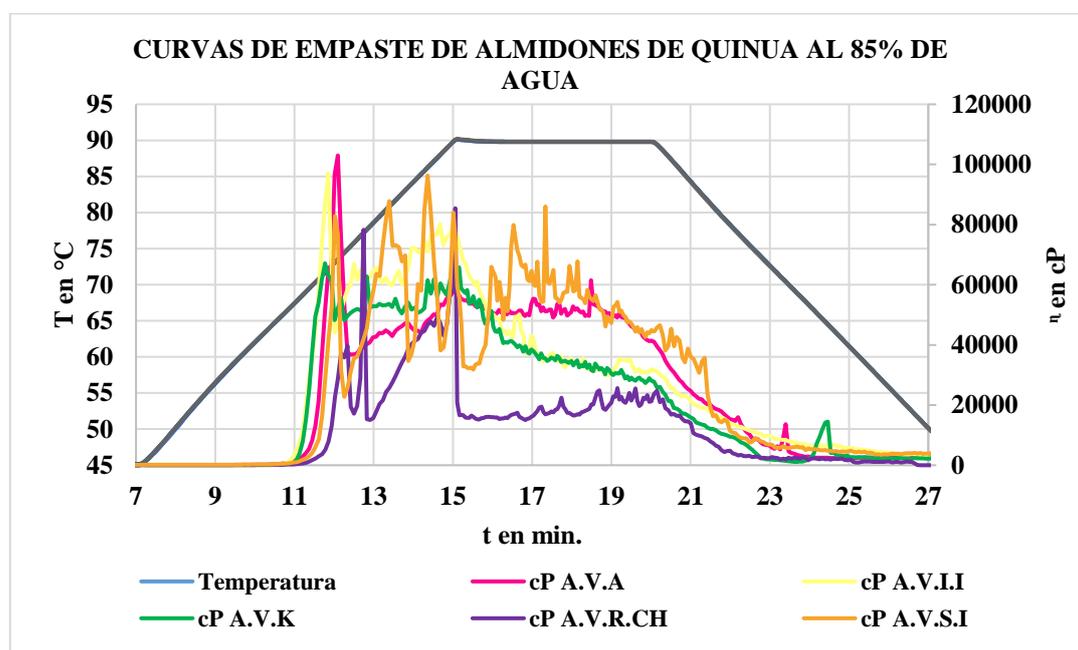


Figura 19: Curva de empaste de almidones de quinuas al 85 % de agua.

Tabla 14. Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 85 % de agua.

VARIETADES DE ALMIDONES DE QUINUA	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)	ESTABILIDAD (Cp)
Altiplano	11.367417	69.462944	103010.078	99736.727
Illpa INIA	11.125883	69.051292	97048.9766	94319.0461
Kancolla	11.207884	68.54113	67088.9922	63872.6191
Rosado choclo	11.857083	72.163506	78254.3906	77619.9075
Salcedo INIA	11.534117	70.407249	82824.5703	79392.7085

En la Figura 20, se puede apreciar las curvas de empaste de los almidones de cinco variedades de quinua, donde T en °C, η en cP y t en min, se presentan los recorridos de las curvas de empaste obtenidas en una suspensión de 95 % de agua.

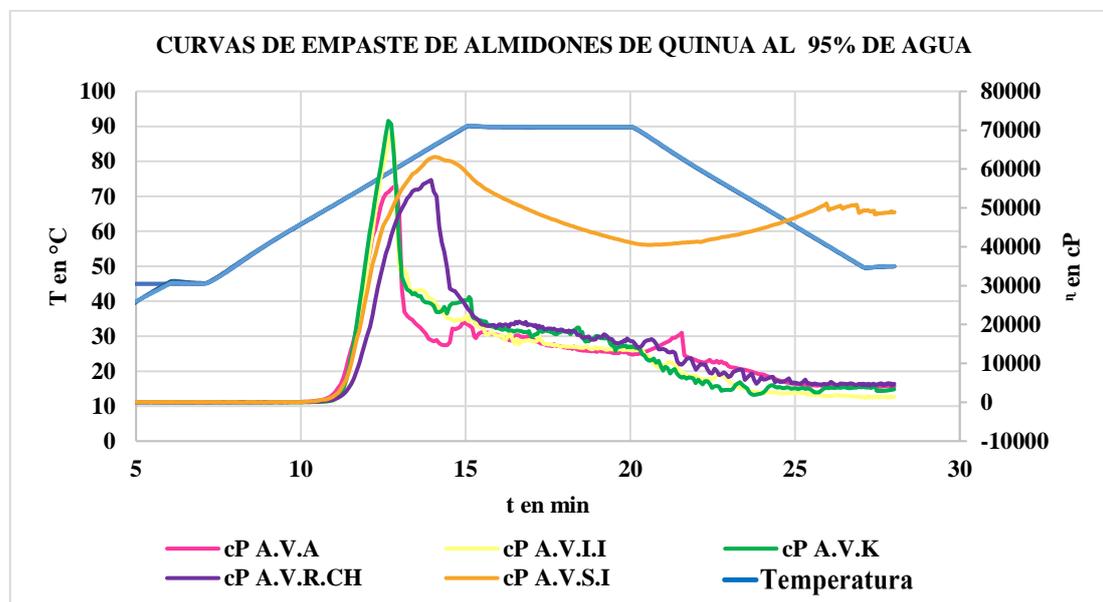


Figura 20: Curva de empaste de almidones de quinuas al 95 % de agua.

Tabla 15. Características de empaste de almidones de cinco variedades de quinua al 95 % de agua.

VARIETADES DE ALMIDONES DE QUINUA	TIEMPO DE EMPASTE (min)	TEMPERATURA DE EMPASTE (°C)	VISCOSIDAD PICO (cP)	ESTABILIDAD (cP)
Altiplano	11.127917	68.110191	55767.0859	51626.3159
Ilpa INIA	11.288668	69.051292	69454.4766	68115.6239
Kancolla	11.206266	68.599449	72424.3906	69072.3801
Rosado Choclo	11.450617	69.941917	57204.4922	52459.1289
Salcedo INIA	11.211767	68.631737	63121.6406	14244.3516

Los valores de viscosidad pico de los almidones de cinco variedades que presentan valores altos, los cuales indican que tiene una mayor facilidad de hinchamiento y por tanto el grado de asociación de sus moléculas son débiles (enlaces débiles).

En la Figura 21, se muestra la variación de tiempo de empaste para cada variedad de almidón de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

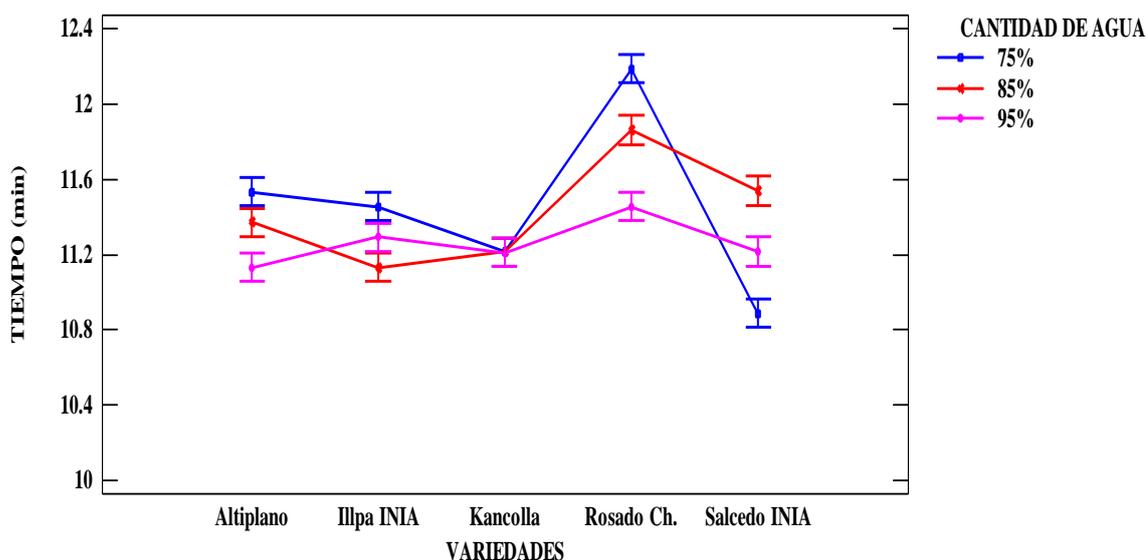


Figura 21: Tiempo de empaste para cada variedad de almidón de quinua.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo E, cuadro E2) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre el tiempo de empaste, por motivo de estimar la variedad con mejor comportamiento mejor tiempo de empaste se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo E, cuadro E3 y E4) donde observamos que al menos uno difiere de otros.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la variedad sobre el tiempo de empaste, los tiempos de empaste es menor para las variedades Kancolla y Salcedo INIA, pero diferentes para las variedades Illpa INIA y Altiplano que el tiempo de empaste se encuentra en un intermedio, la variedad Rosado choclo Taraco es la que se diferencia más ya que el tiempo de empaste es elevado.

En la Figura 22, se muestra la variación de temperatura de empaste para cada variedad de almidón de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

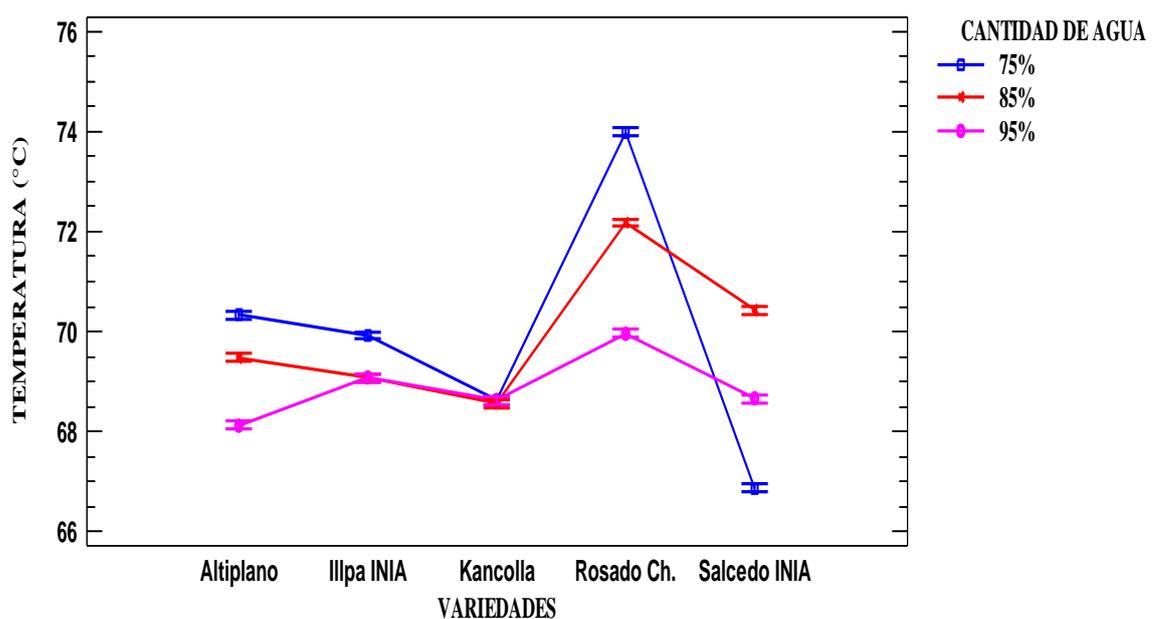


Figura 22: Temperatura de empaste para cada variedad de almidón de quinua

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo E, cuadro E5) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre la temperatura de empaste, por motivo de estimar la variedad con mejor comportamiento mejor tiempo de empaste se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo E, cuadro E6 y E7) donde observamos que al menos uno difiere entre grupos.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la variedad sobre la temperatura de empaste, es menor para las variedades Kancolla y Salcedo INIA, pero diferentes para las variedades Altiplano y Illpa INIA que la temperatura de empaste se encuentra en un intermedio, la variedad Rosado choclo Taraco es la que se diferencia más ya que la temperatura de empaste es elevada.

En la Figura 23, se muestra la variación de viscosidad pico de empaste para cada variedad de almidón de quinua a tres contenidos de agua (75 %, 85 % y 95 %).

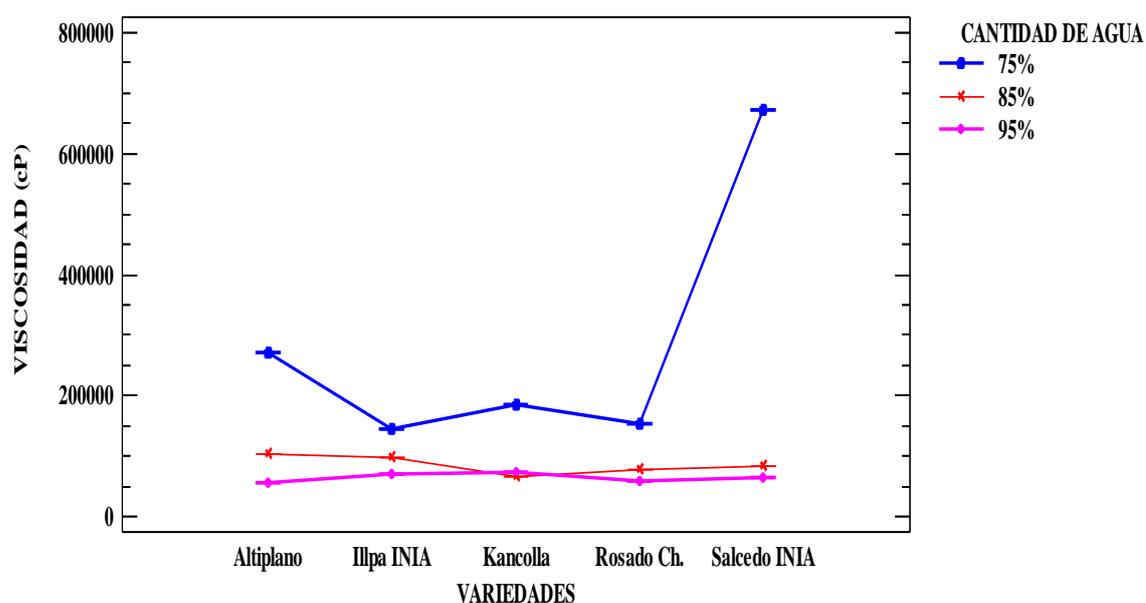


Figura 23: Viscosidad pico para cada variedad de almidón de quinua

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo E, cuadro E8) se muestran que existe evidencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para variedades y contenidos de agua sobre la viscosidad pico, por motivo de estimar la variedad con mejor comportamiento mejor viscosidad se realizó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo E, cuadro E9 y E10) donde observamos que difieren entre grupos.

De acuerdo a la prueba tukey respecto a la variedad sobre la viscosidad pico, es menor para las variedades Rosado choclo Taraco y mayor para la variedad Salcedo INIA.

En las Tablas 13, 14 y 15 muestran las propiedades funcionales de los almidones de cinco variedades de quinua a tres concentraciones de agua (75 %, 85 % y 95 %), en el cual se muestra la mayor y menor temperatura de empaste la cual es de (66- 74 °C) para

un contenido de agua de 75 %, (68- 72.2 °C) para un contenido de agua de 85 % y (68- 70 °C) para un contenido de agua de 95 %; en cambio el mayor tiempo de empaste es de 12.18 min. y el menor es de 10.88 min, o sea, el proceso de gelatinización guarda una relación directa entre temperatura, tiempo y variedades de almidones extraídos de quinua. Además, presenta viscosidades pico de (144598.547 - 670647.625 cP) para un contenido de agua de 75 %, (67088.9922 - 103010.078 cP) para un contenido de agua de 85 % y (55767.0859 - 72424.3906 cP) para el contenido de agua al 95%. De la Rosa, (2009) menciona que la viscosidad está relacionada con la distribución de cadenas de las moléculas de amilopectina. Por lo que, desde el punto de vista de la viscosidad, la amilopectina con una mayor masa molar genera pastas más viscosas a altas temperaturas. Mientras que la amilosa es la responsable de altas viscosidades cuando la pasta se enfría.

Arzapalo *et al.* (2015) indican que la mayor temperatura de gelatinización es a 65° C y la menor a 55° C; en cambio, el mayor tiempo de gelatinización es a 10 minutos y el menor a 5 minutos. Además, presenta un ligero pico de viscosidad de 2006.50 cP, 1521.50 cP y un mínimo de 1009.00 cP para almidones de quinua (negra Collana, Pasankalla roja y blanca Junín). Mientras que Lindeboon, (2005) indica que la temperatura de empaste de los almidones de quinua es de 63 a 64 °C, mientras que el tiempo de empaste varía de 5.1 a 6.9 min.

Las propiedades de empaste del almidón están relacionadas con una variedad de factores incluyendo el tamaño, proporción y tipo de organización cristalina, y la estructura del gránulo de almidón. El almidón de quínoa gelatiniza a una temperatura relativamente baja, que es similar a la temperatura de gelatinización de almidón de trigo y papa, pero más baja que el almidón de maíz (Inouchi *et al.*, 1999).

Los almidones con alta proporción en amilosa requieren temperaturas más altas para el empaste y son más propensos a la descomposición (FAO, 1999)

Por otro lado, los gránulos ricos en amilopectina son más fáciles para disolver en agua, pero solo se encargan de espesar más no de gelificar (Espín, Villacrés, & Brito, 2004).

En la Figura 24 muestra la relación de las viscosidades de cada variedad con el contenido de amilosa.

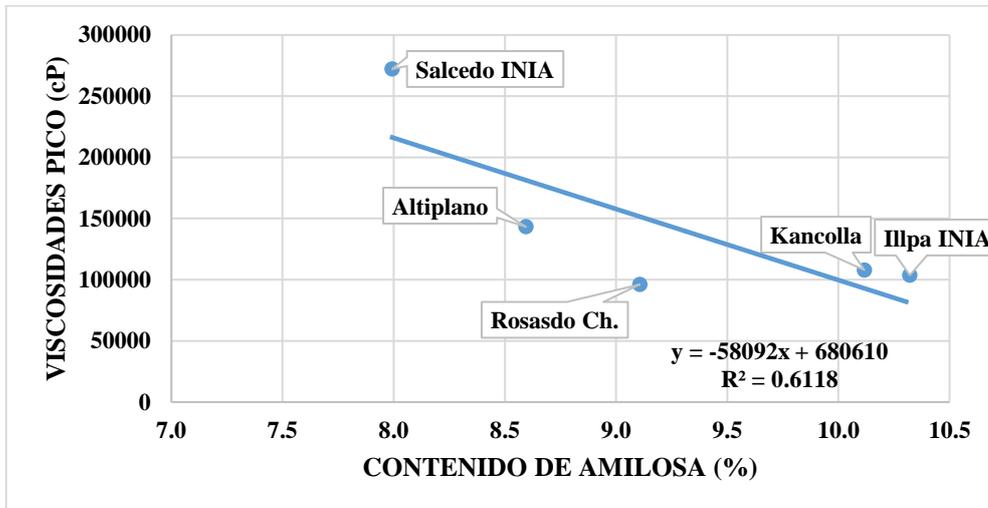


Figura 24: Relación del contenido de amilosa con las viscosidades pico

En la Figura 25 nos muestra la relación de la estabilidad de la pasta con respecto al contenido de amilosa el cual nos indica que a menor contenido de amilosa la estabilidad es mejor.

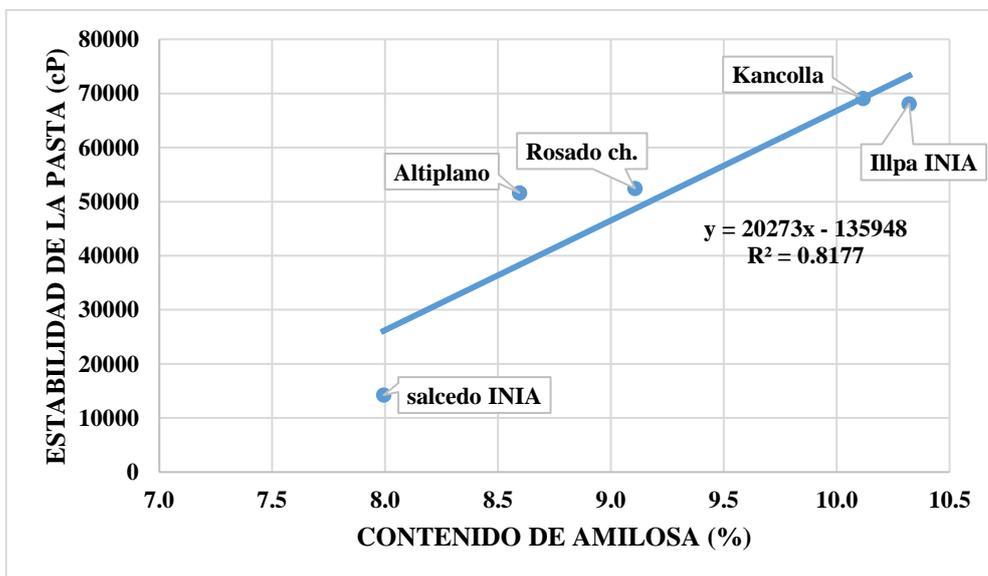


Figura 25: Relación del contenido de amilosa con la estabilidad de la viscosidad al 95 % de agua

4.2.4.1. Propiedades de empaste de almidones a diferentes cantidades de agua para cada variedad.

Las propiedades de empaste de una muestra de almidón están gobernadas por la concentración, velocidad de calentamiento y la presencia de los otros componentes.

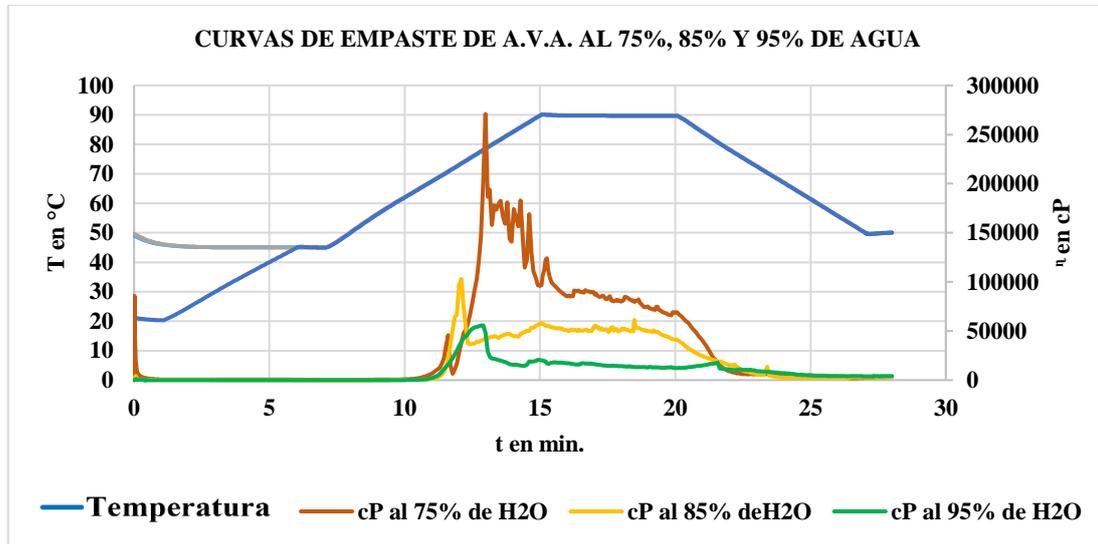


Figura 26: Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad altiplano.

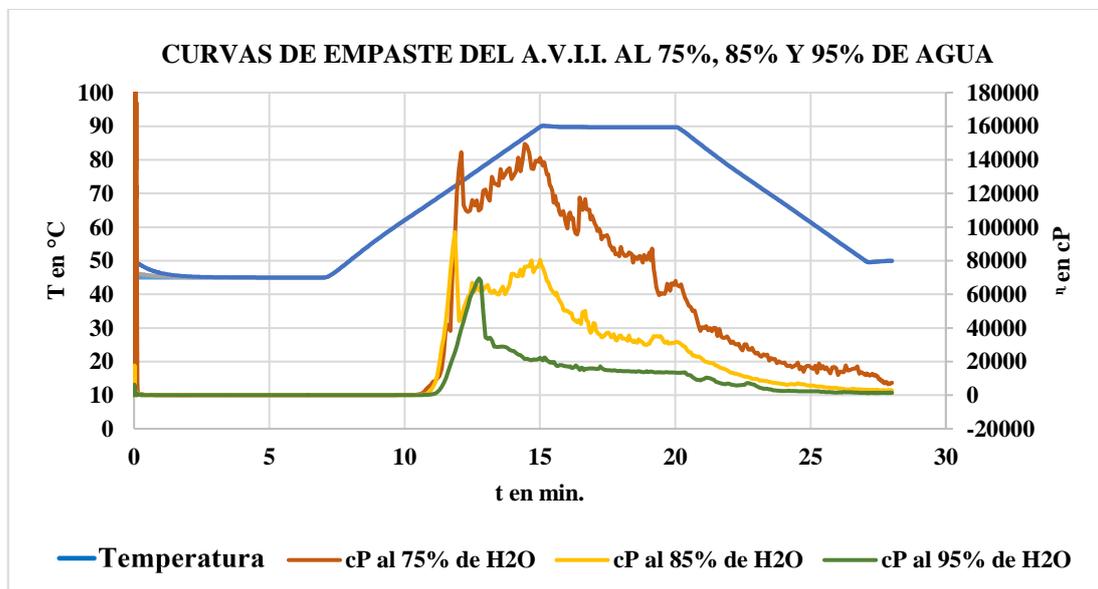


Figura 27. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Ilpa INIA.

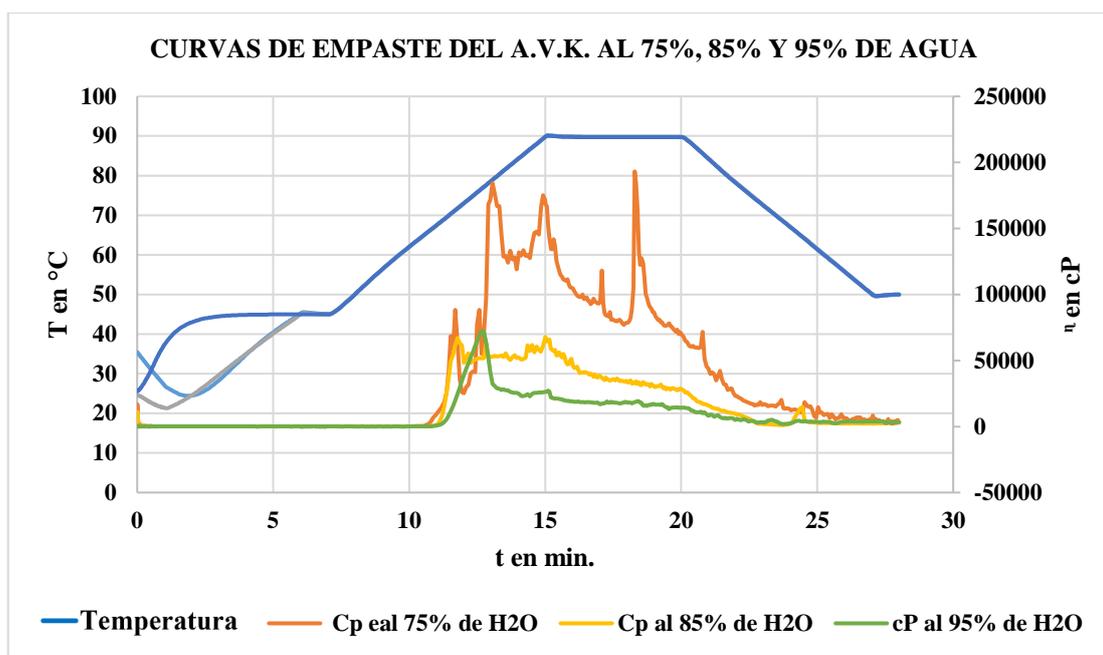


Figura 28. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Kancolla.

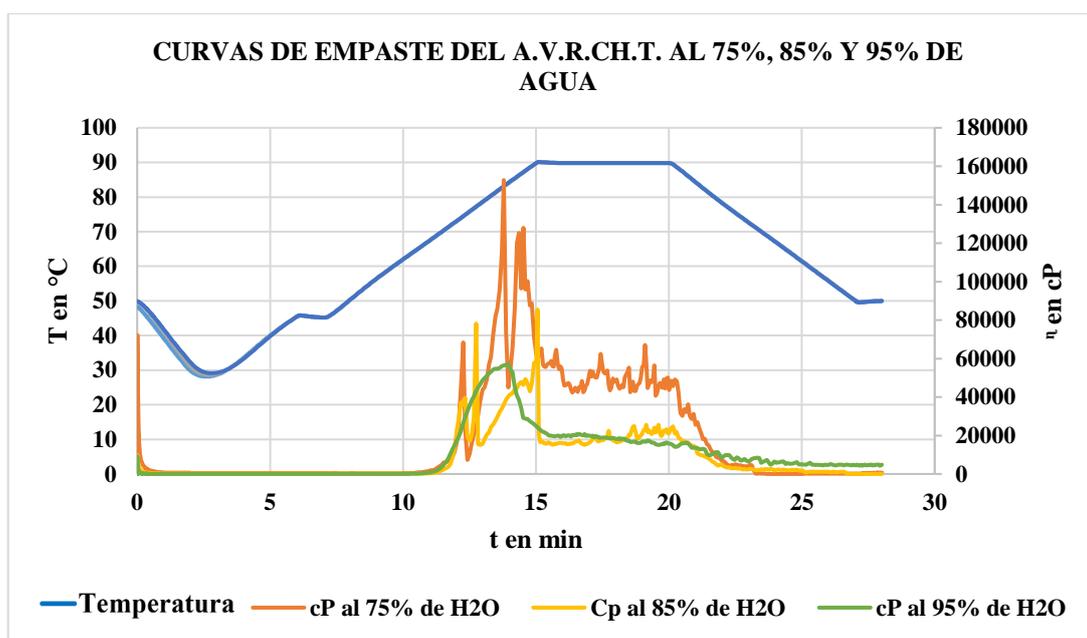


Figura 29. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Rosado choclo Taraco

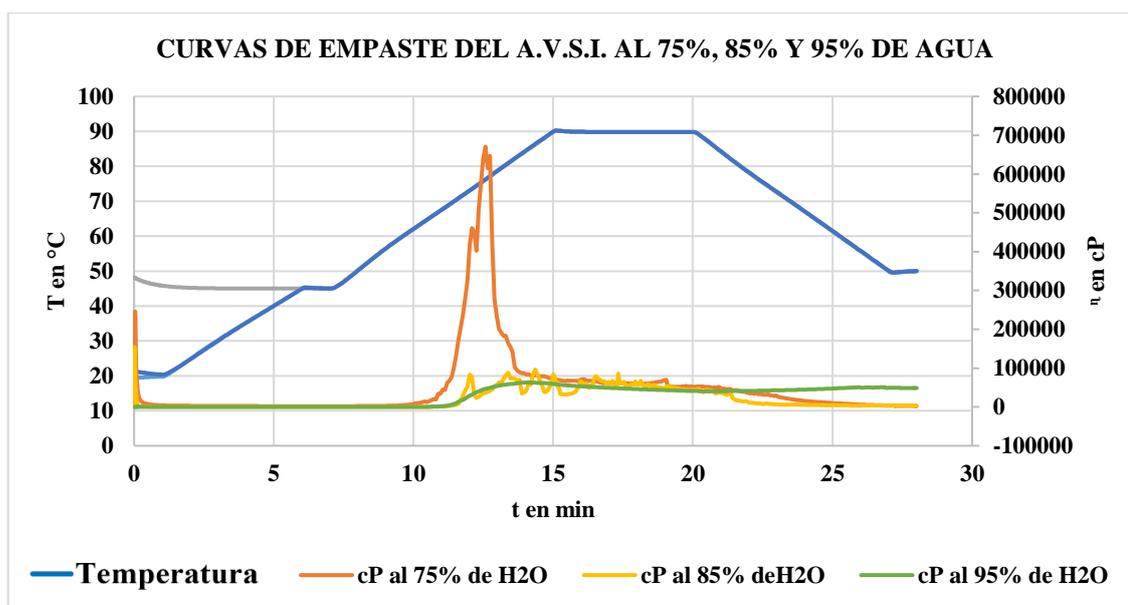


Figura 30. Curvas de empaste obtenidas al 75 %, 85 % y 95% de agua del almidón de quinua variedad Salcedo INIA.

En las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30 podemos observar una dependencia clara del contenido de agua en las propiedades de empaste de los almidones extraídos de cinco variedades de quinua, Estas propiedades de empaste se ven afectadas por el contenido de agua, aumentando los valores de las mismas a medida que disminuye la cantidad de agua. Sin embargo, el efecto sobre la propiedad de retrogradación es de mayor consideración.

Los resultados de la propiedad de viscosidad pico (viscosidad máxima) en función del contenido de agua nos muestran diferencias pronunciadas entre los almidones de las cinco variedades de quinua aumentando de (55767.0859 - 270854.281 cP) para la variedad Altiplano, (69454.4766 - 144598.547 cP) para la variedad Illpa INIA, (72424.3906 - 184352.781 cP) para la variedad Kancolla, (57204.4922 - 152802.625 cP) para la variedad Rosado choclo Taraco y (63121.6406 - 670647.625 cP) para la variedad Salcedo INIA cuando el contenido de agua aumenta de 75 % al 95 %.

Es remarcable mencionar que a menor contenido de agua se tiene una mayor viscosidad pico, pero no mayor retrogradación ya que este valor se reduce, de manera de que el contenido de amilosa presenta otras características en contenidos de agua mínimos, debido a sus enlaces intermoleculares talvez otros factores entorno a él.

CONCLUSIONES

La mazamorra elaborada con la harina de la variedad Altiplano tiene mejores características de empaste: tiempo de empaste 11.04 min, temperatura de empaste 67 °C y viscosidad pico 70271.0078 cP a un contenido de agua de 95 %. Para elaborar mazamorra de quinua de calidad se necesita tener menores viscosidades para que tenga una estabilidad adecuada. Y el tiempo y temperatura de cocción también deben ser mínimos para no consumir energía al momento de elaborar la mazamorra.

La variedad Rosado choclo Taraco tiene el mayor rendimiento en cuanto a la extracción de almidón de quinua que es de 28 %; seguido de la variedad Illpa INIA con 26.41%, Altiplano 22.87%, Salcedo INIA 22.40% y mientras que el menor rendimiento es de 22.27% para la variedad Kancolla. El contenido de amilosa de los almidones de las cinco variedades de quinua varía de (8- 10.32 %), en cuanto al contenido de amilopectina es de (90.68 - 92 %) estas propiedades están relacionados con las propiedades funcionales de los almidones; con respecto a la viscosidad la variedad Rosado choclo Taraco y Illpa INIA genera pastas más viscosas, y las variedades menos viscosas son las variedades Salcedo INIA, Kancolla y Altiplano las cuales se puede utilizar como agregados para elaborar purés y alimentos que necesitan ser más estables en cuanto al calentamiento.

RECOMENDACIONES

Para próximos estudios se recomienda el estudio de propiedades visco elásticas de almidones de quinua.

Para conocer la estabilidad de los geles de almidones en el tiempo y su aplicación en la industria, realizar pruebas de frecuencia en largos periodos de tiempo (días).

Estudiar el efecto de la cal y sal en las propiedades reológicas de las mazamoras elaboradas a partir de harina de quinua.

REFERENCIAS

- Abugoch, L. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition*, 58 (1).
- Acosta, A. (2013). *Estudio de viscosidad aparente en sistemas simples y multi-fásicos de baja densidad en función de la temperatura, mediante el uso de un visco-analizador*. Mexico: (Tesis de Doctorado) Universidad Autónoma de Queretano.
- Ahmed, J., Tiwari, B., Imam, S., & Rao, M. (2012). *Starch-based polymeric materials and nanocomposites: chemistry, processing and applications*. Florida, US: Editorial CRC.
- Arendt, E., & Zamini, E. (2013). Cereal grains for the food and beverage industries. *Food Science, Technology and Nutrition*, 248,409-438.
- Arteaga, M., Andrade, R., Durango, D., & Mosquera, J. (2015). Proceso de Elaboración de Mazamorra de Plátano. *Información Tecnológica*, 45-52.
- Arzapalo, D., Huaman, K., Quispe, M., & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) nera collana, pasankalla roja y blanca junin. *Soc Quim Perú*, 81.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Mexico: 4 ed. Pearson educación.
- Barrera, V., Tapia, C., & Monteros, A. (2004). *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Quito: 176.
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Pamplona: Ediciones Díaz de Santos.
- Bemiller, J., & Wistler, R. (2009). *Starch: chemistry and technology* (3ed ed.). Burlington, US: Editorial Academic Press.
- Bernal, L., & Martínez, E. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista Del Centro de Investigación*, 7(25), 77-90.
- Biliaderis, C., & Zawistowski, J. (1990). Viscoelastic behaviour of aging starch gels: effects of concentration, temperature and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chem.*, 240-246.
- Blaszczak, W., Voalverde, S., Fornal, J., Amarowicz, R., & Borkoski, K. (2003). Changes in the microstructure of wheat, corn and potato starch granules during extraction of nonstarch compounds with sodium dodecyl sulfate and mercaptoethanol. *Carb. Polym.*, 53:63-73.

- Bonamino, M., Carreño, V., & N, C. (2009). *Elaboración de sopas cremas e instantáneas a partir de semillas de quinoa (Chenopodium quinoa)*. Cordova: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias.
- Bonifacio, A., Vargas, A., & Rojas, W. (2013). *Mejoramiento para la calidad Industrial de la Quinua*. Ibarra- Ecuador: Memoria IV Congreso Mundial de la Quinua.
- Cespedes, G. (2008). *Caracterización reológica de pasta y geles obtenidos de almidón de tres variedades de papa dulce (Ipomoea batata)*. Cochabamba-Bolivia: Universidad Mayor de San Simón .
- Charley, H. (2001). *Tecnología de alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. México: Limusa, Noriega .
- Coultate, T. (2007). *Manual de Química y Bioquímica de los alimentos*. Zaragoza: Acribia S.A.
- Cui, S. (2005). *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications*. Florida, US: Editorial CRC Press.
- De la Rosa, J. (2009). "Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de maíz azul". México : Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias en desarrollo de productos bióticos.
- Díaz, N. (2016). "Desarrollo de un proceso para la obtención de un aislado proteico a partir de la harina de quinua (Chenopodium quinoa) para su evaluación potencial en la industria". Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Doublier, J., Paton, D., & Llamas, G. (1987). rheological investigation of oat starch pastes. *Cereal Chemistry*, 64(1): 21-26.
- Eliasson, A. (2006). *Carbohydrates in food* (2 ed ed.). New York, US: Taylor&Francis Group.
- Espejo, C. (2007). *Lima and its mazamorra morada*. Lima, Perú.
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). *Caracterización Físico-Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tuberculoso Andino*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- FAO. (1999). *Los Carbohidratos en la nutrición humana*. Roma.
- Gandarillas, H. (1982). *El cultivo de la quinua*. La Paz, Bolivia: Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria.
- Gonzales, G. (2002). *Extracción y caracterización del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) y su resistencia a tratamientos tecnológicos*. UNALM, Mg. Sc, Lima.

- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers* , 45(3):253-267.
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J., & Liu, Q. (2010). ition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches. *Food Research International* , 43(2):399-413.
- Hung, P., & Morita, N. (2005). Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), 314-321.
- Inou, M., & Lepeutre, P. (2006). Change in the Rheology of Starch Adhesive During Gelatinization. *starch*, 287-289.
- Inouchi, N., Nishi, K., Tanaka, S., Asai, M., Kawase, Y., Hata, Y., Fuwa, H. (1999). Characterization of amaranth and quinoa starches. *J. Appl. Glycosci*, 46(3).
- I.S.O. (2007). *Determination of amylose content, method B. Part 2: routine methods*. Switzerland: ISO 6647 – 2.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., & Weber, E. (2005). Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International* , 38(6), 615-629.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2010). *Ciencia de los alimentos: bioquímica y microbiología* (Vol. 1). Zaragoza, ES: Editorial Acribia.
- Karim, A., Norziah, M., & Seow, C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry* , 71(1):9-36.
- Kaur, M., & Singh, N. (2007). Relationships between various functional, thermal and pasting properties of flours from different Indian black gram (*Phaseolus mungo L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 87: 974-984.
- Kirk, R., Sawyer, R., & Egan, H. (2004). *Composición y análisis de alimentos de Pearson CECSA*. Mexico: Continental.
- Lindeboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches . *Starch/stärke*, 56, 89-99.
- Lindeboom, N., Chang, P., Falk, K., & Tiler, R. (2005). Characteristics of Starch from Eight Quinoa Lines. *Cereal Chem*, 216-222.

- Liu, Y., Bailey, T., & White, J. (2010). . Individual and interactional effects of β -glucan, starch, and protein on pasting properties of oat flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 9198-9203.
- Lorenz, K. (2006). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch-physico-chemical properties and functional characteristics. *Starch- Stärke*, 42(3), 81-86.
- Manzaneda, E. (2010). *Evaluación técnica, económica y financiera de la empresa procesadora de quinua JOSEQUI E.I.R.L.* Lima- Perú: Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Matos, A. S. (2011). “*Determinación del rendimiento de almidón a partir en tres accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd), Pasankalla, Salcedo INIA y Kancolla*”. Lima-Perú: Universidad Peruana Unión, Tercer encuentro de Investigación Universitaria.
- Mélo, E., Stamford, T., Silva, M., & Krieger, N. (2003). Functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) starch. *Bioresource Technology* , 89(1), 103-106.
- Meyhuay, M. (2013). *Quinua: operaciones de poscosecha. INPhO-compendio de poscosecha.*
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G., Romero, A., & Jacobsen, S. (2006). *Agroindustria de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en los países andinos. Proyecto quinua: Cultivo multipropósito para los países andinos INT/01/K01 .* Perú-BoliviaColombia. Puno, Perú. .
- Ortega, F. (2008). *Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quinua.* Santiago-Chile: Universidad de Chile para optar el grado de maister en ciencia de los alimentos.
- Pajarito, J. (2005). *Obtención y caracterización de la harina integral de quinua orgánica.* Universidad de Chile .
- Philpot, K., Martin, M., Butardo, V., Willoughby, D., & Fitzgerald, M. (2006). Environmental factors that affect the ability of amylose to contribute to retrogradation in gels made from rice flour. *Agric Food Chem*, 5182-5190.
- Pumacahua, A., Limaylla, K., Telis, J., & Lopes, J. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) varieties. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 23-33.
- Pumacahua, A., Lopez, J., Telis, J., & Demiate, M. (2013). *Estudio del comportamiento de pasta de almidón de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) extraído por molienda húmeda.* Ibarra- Ecuador: Memoria IV Congreso Mundial de la Quinoa.

- Quintero, V., Lucas, J., & Álzate, E. (2012). Determination of Thermal Properties and Compositional Flour and Starch Chachafruto (*Erythrina Edulis Triana ex Micheli*). *Revista de la Facultad de Ingeniería* , 29-30.
- Rao, M. (2014). *Rheology of fluid, semisolid and solid foods: principles and applications* (3 ed ed.). New York, US: Springer.
- Repo De Carrasco, R., & Encina, C. (2008). Determinacion de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la sociedad quimica del Perú*, 74(2), 85-99.
- Repo-Carrasco, R. (1992). *Cultivos andinos y la alimentación infantil. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina CCTA*. Lima: Serie Investigaciones N°1.
- Riley, C., Wheatley, A., & Asemota, H. (2006). Physicochemical characterization of starches from jamaican yams (*Dioscorea spp.*): Potential for pharmaceutical exploitations. *European. Scientific Research*, 207-219.
- Rivas, M. (2006). *Caracterización fisicoquímica y molecular del almidón de plátano (Musa paradisiaca L. var. Macho) modificado por métodos químicos*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional.
- Robles, M. (2012). *Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé*. Universidad Austral de Chile.
- Romero, D., & Tuiran, L. (2017). *Caracterización fisicoquímica, funcional, reológica y composicional de la harina precocida de cubio (Tropaeolum tuberosum R&P) cultivado en diferentes fuentes de fertilización* . Bogota DC: Univesidad de la Salle.
- Ruales, J., & Nair, B. (1994). Properties of Starch and Dietary Fibre in Raw and Processed Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) Seeds. *Plant Food for Human Nutrition*, 223-246.
- Scarpati, Z., & Briceño, P. (1980). *Evaluación de la composición química y nutricional de algunas entradas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) del banco de germoplasma de la Universidad Técnica del Altiplano*. *Annales Científico* .
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch-Stärke*, 67(1-2): 30-41.
- Skibsted, L., Risbo, J., & Andersen, M. (2010). Chemical deterioration and physical instability of food and beverages. *Elsevier*, 790.

- Tang, H., Watanabe, K., & Mitsunaga, T. (2002). Characteritration of storage starches from quinoa, barley and adsuki seeds. *Carbohydr. Polym*, 49(1), 13-22.
- Tapia, M. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. Bogotá (Colombia).
- Tari, T., Annapure, U., Singhal, R., & Kulkarni, P. (2003). Starch-based spherical aggregates: Screening of small granule sized starches for entrapment of a model flavouring compound, vanillin. *Carbohydrate Polimers*, 49(1), 13-22.
- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2):151-165.
- Tomasik, P. (2004). *Chemical and functional properties of food saccharides*. Floridad, US: Editorail CRC Press.
- Tovar, C., Perafán, E., Enriquez, M., Portillo, Y., & Fernandez, L. (2017). Extrusion process effect evaluation on normal and germinated flour quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 30-38.
- Tukomane, T., & Varavinit, S. (2008). Classification of rice starch amylose content from rheological changes of starch paste after cold recrystallization. *Starch/Stärke*.
- Vaclavick, V. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. Zaragoza, ES: Acribia.
- Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., & Wei, Y. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 24-215.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation. *Food Science and Food Safety* , 14(5):568-585 .
- Watanabe, K., Peng, L., Tang, H., & Mitsunaga, T. (2007). Molecular structural characteristics of quinoa starch. *Food Sci. Technol*, 13(1), 73-76.
- Waterschoot, J., Gomand, S., Fierens, E., & Delcour, J. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch-Stärke*, 67(1-2):14-29.
- Yufera, E. (2004). *Química Orgánica Básica y Aplicada, de la Molécula a la Industria*. Universidad Politécnica de Valencia, España: Reverte.
- Zhang, B., Zhao, Y., Li, X., Zhang, P., Li, L., Xie, F., & Chen, L. (2014). Effects of amylose and phosphate monoester on aggregation structures of heat-moisture treated potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 103: 228-233.
- Zou, W., Yu, L., Liu, X., Chen, L., Zhang, X., Qiao, D., & Zhang, R. (2012). Effects of amylose / amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. *Carbohydrate Polymers*, 87(2).

ANEXOS

ANEXO A

Cuadro A1. Resultado de las propiedades de empaste de mazamorra de cinco variedades de quinua

variedades de almidón de quinua	contenido de agua	repeticiones	Tiempo de empaste (min.)	Temperatura de empaste (°C)	Viscosidad pico (cP)
Altiplano	75% DE AGUA	R1	10.995218	67.642101	91504.3094
		R2	11.045218	67.692101	91504.3594
		R3	11.095218	67.742101	91504.4094
	85% DE AGUA	R1	10.99915	67.687358	70270.9578
		R2	11.04915	67.737358	70271.0078
		R3	11.09915	67.787358	70271.0578
	95% DE AGUA	R1	11.076451	68.057445	47457.5516
		R2	11.126451	68.107445	47457.6016
		R3	11.176451	68.157445	47457.6516
Ilpa INIA	75% DE AGUA	R1	11.400833	69.932811	87837.7625
		R2	11.450833	69.982811	87837.8125
		R3	11.500833	70.032811	87837.8625
	85% DE AGUA	R1	11.319667	69.365489	90983.6219
		R2	11.369667	69.415489	90983.6719
		R3	11.419667	69.465489	90983.7219
	95% DE AGUA	R1	11.317218	69.459575	43158.5594
		R2	11.367218	69.509575	43158.6094
		R3	11.417218	69.559575	43158.6594
Kancolla	75% DE AGUA	R1	11.240884	68.954631	85041.45
		R2	11.290884	69.004631	85041.5
		R3	11.340884	69.054631	85041.55
	85% DE AGUA	R1	11.158267	68.576091	135488.466
		R2	11.208267	68.626091	135488.516
		R3	11.258267	68.676091	135488.566
	95% DE AGUA	R1	11.077684	68.088542	61589.1531
		R2	11.127684	68.138542	61589.2031
		R3	11.177684	68.188542	61589.2531
Rosado Choclo	75% DE AGUA	R1	11.320067	69.415996	107385.669
		R2	11.370067	69.465996	107385.719
		R3	11.420067	69.515996	107385.769
	85% DE AGUA	R1	11.319684	69.384044	142383.653
		R2	11.369684	69.434044	142383.703
		R3	11.419684	69.484044	142383.753

	95% DE AGUA	R1	11.239834	68.952922	57665.7703
		R2	11.289834	69.002922	57665.8203
		R3	11.339834	69.052922	57665.8703
Salcedo INIA	75% DE AGUA	R1	11.160618	68.600108	105175.098
		R2	11.210618	68.650108	105175.148
		R3	11.260618	68.700108	105175.198
	85% DE AGUA	R1	11.156468	68.525829	53138.5359
		R2	11.206468	68.575829	53138.5859
		R3	11.256468	68.625829	53138.6359
	95% DE AGUA	R1	11.079967	68.158916	57575.2273
		R2	11.129967	68.208916	57575.2773
		R3	11.179967	68.258916	57575.3273

Cuadro A2. Análisis de varianza del tiempo de empaste de mazamoras de quinua.

Fuente	Suma de Cuadrados	de G l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: VARIETADES	0.602346	4	0.150587	60.23	0.0000
B: CANTIDAD DE AGUA	0.0319745	2	0.0159873	6.39	0.0049
INTERACCIONES					
AB	0.0593417	8	0.00741771	2.97	0.0143
RESIDUOS	0.0750	30	0.0025		
TOTAL (CORREGIDO)	0.768662	44			

Cuadro A3. Pruebas de múltiple rango tukey para el tiempo de empaste de mazamoras de quinua por variedades.

VARIETADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ALTIPLANO	9	11.0736	0.0166667	A
SALCEDO INIA	9	11.1824	0.0166667	b
KANCOLLA	9	11.2089	0.0166667	b
ROSADO CHOCLO	9	11.3432	0.0166667	c
ILLPA INIA	9	11.3959	0.0166667	c

Cuadro A4. Pruebas de múltiple rango tukey para el tiempo de empaste de mazamoras de quinua por el contenido de agua.

CANTIDAD DE AGUA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
95%	15	11.2082	0.0129099	a
85%	15	11.2406	0.0129099	ab
75%	15	11.2735	0.0129099	b

Cuadro A5. Análisis de varianza de las temperaturas de empaste de mazamorra de cinco variedades de quinua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:VARIEDADES	18.0348	4	4.50871	1803.48	0.0000
B:CANTIDAD DE AGUA	1.00618	2	0.503092	201.24	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.72722	8	0.215903	86.36	0.0000
RESIDUOS	0.075	30	0.0025		
TOTAL (CORREGIDO)	20.8432	44			

Cuadro A6. Pruebas de múltiple rango tukey para la temperatura de empaste de mazamorra de quinua por variedades de quinua.

VARIETADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ALTIPLANO	9	67.8456	0.0166667	a
SALCEDO INIA	9	68.4783	0.0166667	b
KANCOLLA	9	68.5898	0.0166667	c
ROSADO CHOCLO	9	69.301	0.0166667	d
ILLPA INIA	9	69.636	0.0166667	e

Cuadro A7. Pruebas de múltiple rango tukey para la temperatura de empaste de mazamorra de quinua por contenido de agua

CANTIDAD DE AGUA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
95%	15	68.5935	0.0129099	a
85%	15	68.7578	0.0129099	b
75%	15	68.9591	0.0129099	c

Cuadro A8. Análisis de varianza de las viscosidades picos de empaste de mazamorra de cinco variedades de quinua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:VARIEDADES	7.90547E9	4	1.97637E9	790762402752.26	0.0000
B:CANTIDAD DE AGUA	1.89335E10	2	9.46677E9	3787742124046.74	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.26945E10	8	1.58682E9	634900440907.83	0.0000
RESIDUOS	0.0749795	30	0.00249932		
TOTAL (CORREGIDO)	3.95336E10	44			

Cuadro A9. Pruebas de múltiple rango tukey para viscosidades pico de empaste de mazamoras de quinuas por variedades.

VARIETADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ALTIPLANO	9	69744.3	0.0166644	a
SALCEDO INIA	9	71963.0	0.0166644	b
ILLPA INIA	9	73993.4	0.0166644	c
KANCOLLA	9	94039.7	0.0166644	d
ROSADO CHOCLO	9	102478.	0.0166644	e

ANEXO B

Cuadro B1. Resultados de rendimientos de almidones extraídos de cinco variedades de quinuas

Variedad de almidón de quinua	Repeticiones	Rendimiento de la extracción de almidón %.
Altiplano	22.20 %	22.87%
	23.6 %	
	22.8%	
Kancolla	19.34 %	22.27%
	24.27 %	
	23.2%	
Illpa Inia	21.22 %	26.41%
	29.8 %	
	28.2%	
Rosado choclo	25.54 %	28.95%
	32.52 %	
	28.8%	
Salcedo Inia	22.22 %	22.40%
	22.38 %	
	22.6 %	

Cuadro B2. Análisis de varianza para rendimientos de cinco variedades de quinua almidones de quinua (ANVA)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	106.46	4	26.6151	146.48	0.0000
Intra grupos	1.817	10	0.1817		
Total (Corr.)	108.277	14			

Cuadro B3. Comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras.

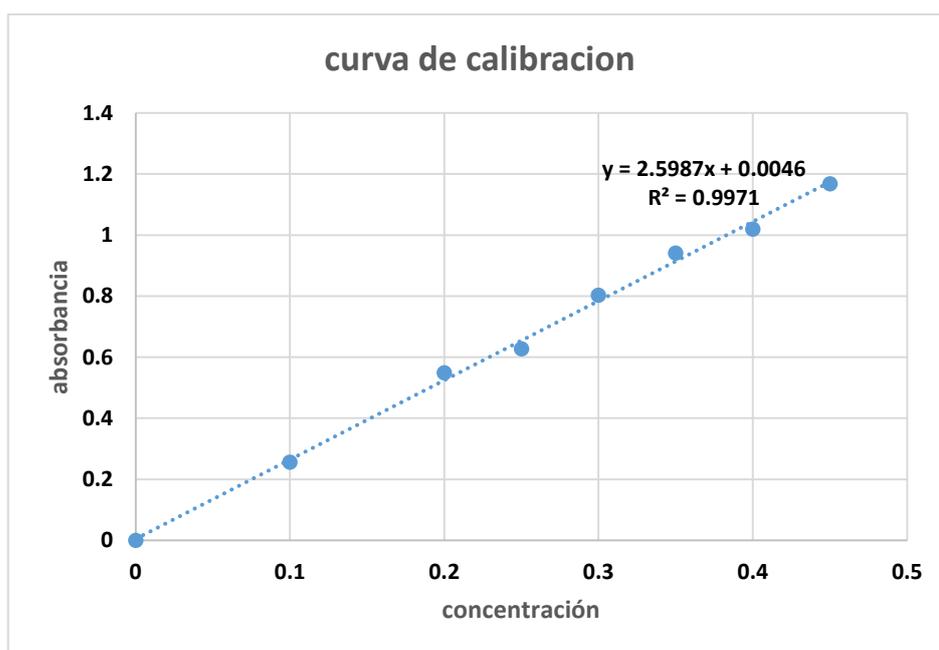
VARIETADES	Casos	Media	Grupos Homogéneos
KANCOLLA	3	22.27	a
SALCEDO INIA	3	22.4	a
ALTIPLANO	3	22.8667	a
ILLPA INIA	3	26.4067	b
ROSADO CH.	3	28.9533	c

ANEXO C

Determinación del contenido de amilosa y amilopectina

Cuadro C1. Resultados de la curva patrón para la determinación de amilosa.

FMA %	Amilosa (mL)	Absorbancia
0%	0mL	0
10%	2mL	0.256
20%	4mL	0.549
25%	5mL	0.627
30%	6mL	0.803
35%	7mL	0.941
40%	8mL	1.02
45%	9mL	1.168



ANEXO D**Resultados de la evaluación del contenido de amilosa y amilopectina de almidones extraídos de cinco variedades de quinua.**

Cuadro D1. Resultados del contenido de amilosa y amilopectina de cinco variedades de quinua.

Variedades de almidones de quinua	Repeticiones	Absorbancia	Tendencia	% de amilosa	% de amilopectina
Altiplano	R1	0.224	0.084923067	8.492306663	91.50769334
Altiplano	R2	0.229	0.086841621	8.684162131	91.31583787
Altiplano	R3	0.227	0.086074199	8.607419944	91.39258006
Illpa INIA	R1	0.274	0.104108613	10.41086135	89.58913865
Illpa INIA	R2	0.27	0.10257377	10.25737697	89.74262303
Illpa INIA	R3	0.271	0.102957481	10.29574807	89.70425193
Kancolla	R1	0.262	0.099504082	9.950408223	90.04959178
Kancolla	R2	0.267	0.101422637	10.14226369	89.85773631
Kancolla	R3	0.27	0.10257377	10.25737697	89.74262303
Rosado Choclo	R1	0.239	0.090678731	9.067873068	90.93212693
Rosado Choclo	R2	0.24	0.091062442	9.106244162	90.89375584
Rosado Choclo	R3	0.241	0.091446153	9.144615256	90.85538474
Salcedo INIA	R1	0.214	0.081085957	8.108595726	91.89140427
Salcedo INIA	R2	0.208	0.078783692	7.878369164	92.12163084
Salcedo INIA	R3	0.211	0.079934824	7.993482445	92.00651756

Cuadro D2. Análisis de varianza para el contenido de amilosa y amilopectina (ANVA).

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.7754	4	2.94385	270.19	0.0000
Intra grupos	0.108953	10	0.0108953		
Total (Corr.)	11.8843	14			

Cuadro D3. Pruebas de múltiple rango tukey para el contenido de amilosa

VARIETADES	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SALCEDO INIA	3	7.99348	a
ALTIPLANO	3	8.59463	b
ROSADO CHOCLO	3	9.10624	c
KANCOLLA	3	10.1167	d
ILLPA INIA	3	10.3213	e

Cuadro D4. Análisis de varianza para el contenido de amilopectina (ANVA).

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.7754	4	2.94385	270.19	0.0000
Intra grupos	0.108953	10	0.0108953		
Total (Corr.)	11.8843	14			

Cuadro D5. Pruebas de múltiple rango tukey para el contenido de amilopectina.

VARIETADES	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ILLPA INIA	3	89.6787	a
KANCOLLA	3	89.8833	b
ROSADO CHOCLO	3	90.8938	c
ALTIPLANO	3	91.4054	d
SALCEDO INIA	3	92.0065	e

ANEXO E

Resultados de las propiedades de empaste de almidones de quinua durante el proceso de calentamiento.

Cuadro E1. Resultado de las propiedades de empaste de almidones de cinco variedades de quinua.

variedades de almidón de quinua	contenido de agua	repeticiones	Tiempo de empaste (min.)	Temperatura de empaste (°C)	Viscosidad pico (cP)
Altiplano	75% DE AGUA	R1	11.47875	70.265819	270854.231
		R2	11.52875	70.315819	270854.281
		R3	11.57875	70.365819	270854.331
	85% DE AGUA	R1	11.317417	69.412944	103010.028
		R2	11.367417	69.462944	103010.078
		R3	11.417417	69.512944	103010.128
	95% DE AGUA	R1	11.077917	68.060191	55767.0359
		R2	11.127917	68.110191	55767.0859
		R3	11.177917	68.160191	55767.1359
Illpa INIA	75% DE AGUA	R1	11.398768	69.858043	144598.497
		R2	11.448768	69.908043	144598.547
		R3	11.498768	69.958043	144598.597
	85% DE AGUA	R1	11.075883	69.001292	97048.9266
		R2	11.125883	69.051292	97048.9766
		R3	11.175883	69.101292	97049.0266
	95% DE AGUA	R1	11.238668	69.001292	69454.4266
		R2	11.288668	69.051292	69454.4766
		R3	11.338668	69.101292	69454.5266
Kancolla	75% DE AGUA	R1	11.159101	68.552684	184352.731
		R2	11.209101	68.602684	184352.781
		R3	11.259101	68.652684	184352.831
	85% DE AGUA	R1	11.157884	68.49113	67088.9422
		R2	11.207884	68.54113	67088.9922
		R3	11.257884	68.59113	67089.0422
	95% DE AGUA	R1	11.156266	68.549449	72424.3406
		R2	11.206266	68.599449	72424.3906
		R3	11.256266	68.649449	72424.4406
Rosado Choclo	75% DE AGUA	R1	12.130285	73.929454	152802.575
		R2	12.180285	73.979454	152802.625
		R3	12.230285	74.029454	152802.675
		R1	11.807083	72.113506	78254.3406

	85% DE AGUA	R2	11.857083	72.163506	78254.3906
		R3	11.907083	72.213506	78254.4406
	95% DE AGUA	R1	11.400617	69.891917	57204.4422
		R2	11.450617	69.941917	57204.4922
		R3	11.500617	69.991917	57204.5422
	Salcedo INIA	75% DE AGUA	R1	10.834201	66.795573
R2			10.884201	66.845573	670647.625
R3			10.934201	66.895573	670647.675
85% DE AGUA		R1	11.484117	70.357249	82824.5203
		R2	11.534117	70.407249	82824.5703
		R3	11.584117	70.457249	82824.6203
95% DE AGUA		R1	11.161767	68.581737	63121.5906
		R2	11.211767	68.631737	63121.6406
		R3	11.261767	68.681737	63121.6906

Cuadro E2. Análisis de varianza del tiempo de empaste de almidones de cinco variedades de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:VARIEDADES	2.43308	4	0.60827	243.31	0.0000
B:CANTIDAD DE AGUA	0.321917	2	0.160959	64.38	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.51423	8	0.189278	75.71	0.0000
RESIDUOS	0.075	30	0.0025		
TOTAL (CORREGIDO)	4.34422	44			

Cuadro E3. Pruebas de múltiple rango tukey para el tiempo de empaste de almidones de quinua por variedades.

VARIEDADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
KANCOLLA	9	11.2078	0.0166667	a
SALCEDO INIA	9	11.21	0.0166667	a
ILLPA INIA	9	11.2878	0.0166667	b
ALTIPLANO	9	11.3414	0.0166667	b
ROSADO CHOCLO	9	11.8293	0.0166667	c

Cuadro E4. Pruebas de múltiple rango tukey para el tiempo de empaste de almidones de quinua por contenido de agua.

CANTIDAD DE AGUA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
95%	15	11.257	0.0129099	a
85%	15	11.4185	0.0129099	b
75%	15	11.4502	0.0129099	b

Cuadro E5. Análisis de varianza de la temperatura de empaste de almidones de cinco variedades de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:VARIEDADES	72.3359	4	18.084	7233.59	0.0000
B:CANTIDAD DE AGUA	11.2543	2	5.62713	2250.85	0.0000
INTERACCIONES					
AB	41.2063	8	5.15079	2060.31	0.0000
RESIDUOS	0.075	30	0.0025		
TOTAL (CORREGIDO)	124.871	44			

Cuadro E6. Pruebas de múltiple rango tukey para la temperatura de empaste de almidones de quinua por variedades.

VARIEDADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
KANCOLLA	9	68.5811	0.0166667	a
SALCEDO INIA	9	68.6282	0.0166667	a
ALTIPLANO	9	69.2963	0.0166667	b
ILLPA INIA	9	69.3369	0.0166667	b
ROSADO CHOCLO	9	72.0283	0.0166667	c

Cuadro E7. Pruebas de múltiple rango tukey para temperatura de empaste de almidones de quinua por contenido de agua.

CANTIDAD DE AGUA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
95%	15	68.8669	0.0129099	a
85%	15	69.9252	0.0129099	b
75%	15	69.9303	0.0129099	b

Cuadro E8. Análisis de Varianza para viscosidad pico de almidones de cinco variedades de quinua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:VARIEDADES	1.9487E11	4	4.87175E10	*****	0.0000
B:CANTIDAD DE AGUA	4.44778E11	2	2.22389E11	*****	0.0000
INTERACCIONES					
AB	3.97016E11	8	4.9627E10	*****	0.0000
RESIDUOS	0.0749207	30	0.00249736		
TOTAL (CORREGIDO)	1.03666E12	44			

Cuadro E9. Pruebas de múltiple rango tukey para la viscosidad pico de empaste de almidones de quinua por variedades.

VARIEDADES	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ROSADO CHOCLO	9	96087.2	0.0166578	a
ILLPA INIA	9	103701.	0.0166578	b
KANCOLLA	9	107955.	0.0166578	c
ALTIPLANO	9	143210.	0.0166578	d
SALCEDO INIA	9	272198.	0.0166578	e

Cuadro E10. Pruebas de múltiple rango tukey para la viscosidad pico de empaste de almidones de quinua por contenido de agua.

CANTIDAD DE AGUA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
95%	15	63594.4	0.0129031	a
85%	15	85645.4	0.0129031	b
75%	15	284651.	0.0129031	c