

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



**“CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE  
PASTAS Y GELES OBTENIDOS DEL ALMIDÓN DE TRES  
VARIETADES DE PAPA NATIVA (*Solanum spp.*)”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**CYNTHIA YVORY CASTILLO SANTOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**  
 “CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE PASTAS Y GELES  
 OBTENIDOS DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPA NATIVA (*Solanum  
 spp.*)”

**TESIS PRESENTADA POR:**

CYNTHIA YVORY CASTILLO SANTOS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE**

:

.....

Ing. M. Sc. Pablo Pari Huarcaya

**PRIMER MIEMBRO**

:

.....

Dr. Ronald Astete Tebes

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

.....

Ing. Raúl Ivon Paucara Ramos

**DIRECTOR / ASESOR**

:

.....

Dr. Alejandro Coloma Paxi

**TEMA: Propiedades físicas y estructurales**  
**ÁREA: Ingeniería y tecnología**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 DE DICIEMBRE DEL 2017

## DEDICATORIA

*A mi MAMÁ y a mi HERMANA, que en todo momento me brindaron su apoyo y comprensión a lo largo de la ejecución del presente trabajo de Investigación, festejando como suyos los logros obtenidos y sufriendo los tropiezos a la par, espero disfruten este logro tanto como yo.*

*Cynthia Y. Castillo Santos.*

*Un hombre libre es aquel que no tiene miedo a probar sus ideas*

*“Para emprender un gran proyecto hace falta valentía, sin embargo, nada se construye sin perseverancia, esfuerzo y dedicación”*

*Solo la papa salvará al mundo.*

*Nuestras Papas Nativas que sigan cumpliendo años y alimentándonos por siempre...*

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS por haberme dado la sabiduría, inteligencia, voluntad, por haberme amado siempre, por brindarme y conservarme la vida para culminar las metas que me propuse.

Todo mi amor y profundo agradecimiento a quien me dio la vida, la forjo e hizo realidad un sueño; el de ver a su primera hija profesional y por todo el apoyo brindado siempre. A mí amada MAMÁ.

A mi hermana, por su respaldo, confianza y motivación permanente para la realización de este proyecto.

Agradezco profundamente al Dr. Sergio Carballo Cadima y a la MSc. Ing. Raquel Antezana Gomez; docentes INVESTIGADORES del Centro de Alimentos y Productos naturales de la Universidad Mayor de San Simón Cochabamba, por ser la guía de mi proyecto, por sus valiosos comentarios y por haberme permitido desarrollar el mismo en las instalaciones de su prestigiosa institución.

Al Dr. Alejandro Coloma Paxi, mi director de Tesis, por su incondicionalidad y calidez. Por sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación.

Al M. Sc. Ing. José Manuel Prieto por su valiosa ayuda y orientación en este trabajo, por la confianza y paciencia depositada, por su experiencia, y por su apoyo incondicional.

*Cynthia Y. Castillo Santos*

## ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	13
<b>1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA</b> .....	13
<b>1.3. HIPOTESIS</b> .....	13
<b>1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO</b> .....	14
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</b> .....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	15
<b>2.1. PAPA</b> .....	15
<b>2.1.1. Clasificación taxonómica</b> .....	16
<b>2.1.2. Descripción botánica y variedades</b> .....	16
<b>2.1.3 Nombres científicos de las especies cultivadas</b> .....	17
<b>2.1.4 Distribución geográfica y requerimientos climáticos</b> .....	18
<b>2.2 CARACTERISTICAS FISICAS DE LA PAPA (<i>Solanum ssp andigena</i>)</b> .....	20
<b>2.2.1. Apariencia microscópica</b> .....	20
<b>2.3.1 Amilosa</b> .....	24
<b>2.3.2 Amilopectina</b> .....	25
<b>2.4 PODER DE HINCHAMIENTO</b> .....	25
<b>2.5. GELATINIZACIÓN</b> .....	26

<b>2.6. PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DEL ALMIDÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7 PROPIEDADES REOLOGICAS DEL ALMIDÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.1 Propiedades de empaste del granulo de almidón .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.2 Propiedades viscoelasticas del almidón.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8 REOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>2.9. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES .....</b>	<b>33</b>
<b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 MATERIAL EXPERIMENTAL.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.1 Materiales .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.2 Equipos .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.3 Reactivos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.4 Otros materiales.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 METODO DE ANÁLISIS.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.1 Extracción del almidón.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.2 Descripción del proceso .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4.3 Determinación de las propiedades reológicas del almidón.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.4 Aislamiento de almidones de tres variedades de papa nativa.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4.5. Observaciones de la forma y tamaño de los gránulos de almidón obtenidos ..</b>	<b>41</b>
<b>3.4.6 Determinación de propiedades físico químicas de los tres almidones obtenidos</b> .....	<b>41</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE LOS TRES ALMIDONES</b> <b>OBTENIDOS .....</b>	<b>46</b>

4.1.1 Contenido de humedad y color .....	46
<b>4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE LAS TRES VARIEDADES DE PAPA .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FOSFORO .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4 CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA .....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 PROPIEDADES DE EMPASTE DE LOS ALMIDONES DURANTE EL PROCESO DE CALENTAMIENTO .....</b>	<b>50</b>
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS .....	58
ANEXOS .....	62

### ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Papa. Planta y sus características botánicas.....	17
<b>Figura 2.</b> Componentes de la papa .....	17
<b>Figura 4.</b> Estructura de la molécula de amilosa.....	25
<b>Figura 5</b> Estructura de la molécula de amilosa.....	25
<b>Figura 6.</b> Procesamiento digital de imágenes ImageJ. ....	34
<b>Figura 7.</b> Analizador de humedad electrónico infrarojo MA20 .....	42
<b>Figura 8.</b> Analizador de Color Minolta CR4 .....	42
<b>Figura 9.</b> Reómetro Physica MCR301 .....	43
<b>Figura 10.</b> SEM de gránulos de almidón de tres variedades de papa nativa a) Huaycha Puneña, b) Imilla negra c) Loq'a, tamaño de la barra 110 µm a 750 x (CITE Materiales PUCP - Lima Perú).....	47
<b>Figura 11.</b> Curvas de empaste de las tres variedades de almidón de papa. ....	50
<b>Figura 12.</b> Prueba reológica y gel obtenido.....	53

<b>Figura 13.</b> Barrido de frecuencia de geles de tres variedades de almidón de papa (Frecuencia de barrido 0.01 a 100 1/s) RHEOPLUS/32 V3.62 21002418- 33025 Anton Par. ....	53
<b>Figura 14.</b> Barridos de amplitud de geles de tres variedades de almidón de papa. ....	55
<b>Figura 15.</b> Variedad Huaycha Puneña .....	62
<b>Figura 16.</b> Variedad Imilla Negra.....	62
<b>Figura 17.</b> Variedad Loq'a .....	62
<b>Figura 18.</b> Variedad Huaycha Puneña 1Kg de muestra.....	63
<b>Figura 19.</b> Variedad Imilla Negra 1Kg de muestra .....	63
<b>Figura 20.</b> Variedad Loq'a 1Kg.....	63
<b>Figura 21.</b> Variedad Huaycha Puneña – pelado .....	64
<b>Figura 22.</b> Variedad Imilla Negra – Pelada .....	64
<b>Figura 23.</b> Variedad Loq'a – pelada.....	64
<b>Figura 24.</b> Extracción de almidón de papa. ....	65
<b>Figura 25.</b> Filtrado de las muestras.....	65
<b>Figura 26.</b> Secado de las muestras de almidón de papa a 40°C x 15Hrs.....	66
<b>Figura 27.</b> Almidones obtenidos de las tres variedades de papa .....	67
<b>Figura 28.</b> Determinación de color – colorímetro Minolta.....	68
<b>Figura 29.</b> Análisis de humedad de los almidones .....	68
<b>Figura 30.</b> Reometro Physica MCR 301 y curvas de empaste. ....	69
<b>Figura 31.</b> Gelificación del almidón de papa.....	69
<b>Figura 32.</b> Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Huaycha puneña .....	70
<b>Figura 33.</b> Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Imilla Negra. ....	71
<b>Figura 34.</b> Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Loq'a. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
<b>Tabla 1.</b> Principales componentes de la papa .....	16
<b>Tabla 2.</b> Nombre científico, nombre común y características agronómicas de las papas .....	18
<b>Tabla 3.</b> Variedades de papas nativas más importantes de Puno, Perú. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Tamaño y forma de los gránulos de almidón de papa comparando con otras fuentes. ....	20
<b>Tabla 5.</b> Propiedades morfológicas de almidones de Maíz, Yuca y Papa, cálculo de volumen promedio de los gránulos de almidón.....	20
<b>Tabla 6.</b> Composición química de los almidones de Makal, Camote, Yuca, Sagú, Maiz y Papa. ....	21
<b>Tabla 7.</b> Propiedades Físico – químicas de almidones antes a) y después b) de un tratamiento térmico en un estado húmedo (T: 100°C; t: 16h; H <sub>2</sub> O: 27%)......	23
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de humedad y color de las tres variedades de almidón.....	46
<b>Tabla 9.</b> Características morfológicas de las tres variedades de papa. ....	48
<b>Tabla 10.</b> Contenido de fosforo .....	48
<b>Tabla 11.</b> Contenido de amilosa y amilopectina de las tres variedades de almidón de papa.....	50
<b>Tabla 12.</b> Propiedades de empaste de las tres variedades de papa. ....	51
<b>Tabla 13.</b> Muestras de gel de almidón de la variedad HP. ....	53
<b>Tabla 15.</b> Distribución de frecuencias para la variedad Huaycha Puneña.....	73

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

PV	: Peak viscosity (viscosidad pico)
HPV	: Hot Paste Viscosity (viscosidad de pasta caliente).
CPV	: Cool paste and viscosity (Viscosidad de pasta fría).
$G'$	: Modulo de almacenamiento
$G''$	: Modulo de perdida (modulo viscoso)
$\delta$	: Angulo de fase
$\tau$	: Fuerza de cizalla (Shear Stress, Pa)
$\gamma$	: Deformación (Shear Strain, %)
HP	: Huaycha Puneña
IM	: Imilla Negra
LQ	: Loq'a
HR	: Humedad relativa.
T	: Temperatura.
g	: Gramos
$\mu\text{m}$	: Micrometro

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo aplicar métodos reológicos y fisicoquímicos para la caracterización de tres variedades de almidón de papa nativa (*Solanum spp*): Huaycha Puneña, Imilla Negra y Loq'a variedades provenientes del departamento de Puno. La extracción del almidón se hizo por vía húmeda siguiendo el procedimiento de N Guessan G. Se observó los gránulos de almidón por microscopia electrónica de barrido SEM donde la forma de los almidones de las tres variedades tiene una forma ovalada. El contenido de fósforo para la variedad Huaycha Puneña fue de 91.12 mg/100g, variedad loq'a fue de 57.09 mg/100g y de la variedad Imilla negra de 69.94 mg/100g. Por otro lado, el contenido promedio de amilosa de las tres variedades tienen como resultado de 35.7% valor que varía dependiendo del tipo de genotipo. Las propiedades de empaste como la viscosidad pico, temperatura de empaste, retrogradación y estabilidad de los almidones de las tres variedades no difieren considerablemente, sin embargo, el almidón de la variedad Huaycha Puneña muestra características especiales de gran utilidad en la industria. Se realizaron pruebas de estabilidad y firmeza estructural en reposo de los geles a 23°C. El almidón de la variedad de Huaycha Puneña, presenta un gel más y más elástico con una menor tendencia a la sinéresis. Los resultados de esta investigación han permitido determinar posibles usos potenciales del almidón de papa nativa (*Solanum spp.*) de acuerdo a sus características fisicoquímicas y reológicas.

**Palabras clave:** Papa, empaste, reología, geles, almidón.

## ABSTRACT

The objective of this thesis work was to apply rheological and physicochemical methods for the characterization of three varieties of native potato starch (*Solanum spp*): Huaycha Puneña, Imilla Negra and Loq'a varieties from the department of Puno. The extraction of the starch was done by wet process following the procedure of N Guessan G. The starch granules were observed by scanning electron microscopy SEM where the shape of the starches of the three varieties has an oval shape. The phosphorus content for the Huaycha Puneña variety was 91.12 mg / 100g, the loq'a variety was 57.09 mg / 100g and the Imilla negra variety was 69.94 mg / 100g. On the other hand, the average amylose content of the three varieties results in a 35.7% value that varies depending on the type of genotype. The filling properties such as the peak viscosity, filling temperature, retrogradation and stability of the starches of the three varieties do not differ significantly, however, the starch of the Huaycha Puneña variety shows special characteristics of great utility in the industry. Stability and structural firmness tests were performed at rest of the gels at 23 ° C. The starch of the Huaycha Puneña variety presents a more and more elastic gel with a lower tendency to syneresis. The results of this investigation have allowed to determine possible potential uses of native potato starch (*Solanum spp.*) According to its physicochemical and rheological characteristics.

**Key words:** Potato, filling, rheology, gels, starch.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la papa exige un tubérculo de calidad, esto sí dependiendo del objetivo de procesamiento. Si el objetivo es la extracción de almidón, estas deben tener un alto contenido de materia seca, ya que existe una alta correlación entre el contenido de materia seca y almidón, además de un buen contenido de ácido fosfórico ya que este es el responsable de dar la viscosidad a este polisacárido, más aún cuando este se usa como ingrediente gelatinizante de otros productos, como es el caso de algunas jaleas a partir de almidón de papas

Estudiar las propiedades funcionales de los almidones nativos por métodos reológicos constituye un ensayo necesario para la investigación y el desarrollo de nuevos productos en la industria alimentaria.

Los almidones nativos de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular. Otro factor importante es que los almidones provenientes de raíces y tubérculos poseen ciertas propiedades especiales no encontradas en los almidones de cereales.

### 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles.

### 1.3. HIPOTESIS

#### Hipótesis General

La caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles se determinará por la variedad de papa nativa (*Solanum spp.*)

### **Hipótesis Específicos**

La caracterización fisicoquímica de pastas y geles será influenciada por la variedad de papa nativa (*solanum spp.*)

La caracterización reológica de pastas y geles será influenciada por la variedad de papa nativa (*solanum spp.*)

### **1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO**

En los últimos años, las papas nativas peruanas han recuperado su importancia como expresión de nuestra biodiversidad, la cual se valora en todo su significado. Destacan por tratarse de productos diferenciados de la papa blanca debido a su mejor sabor y propiedades nutricionales, más aún si se producen en condiciones naturales; lo que las lleva a alcanzar un mejor precio que en, muchos casos, llega al doble del de la papa blanca o mejorada.

La papa es originaria de la zona andina, importante cultivo y componente de la soberanía alimentaria, más de variedades nativas en Perú; toda esta variabilidad ahora es un legado a las generaciones actuales y futuras de Perú y del Mundo.

La papa es un alimento, muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas hidrosolubles, minerales y fibra. Además, tiene un contenido no despreciable de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal.

### **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

#### **Objetivo general**

Realizar la caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*Solanum spp.*)

#### **Objetivos específicos**

Realizar la caracterización fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*solanum spp.*)

Realizar la caracterización reológica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (*solanum spp.*)

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. PAPA

La papa es un cultivo que ha ganado considerable importancia en las últimas décadas. Originario de las áreas montañosas de los Andes, en América del Sur (en los alrededores del Lago Titicaca) fue introducida en Europa en el siglo XVI y de allí llevada al resto del mundo (Aldabe et al. 2006).

La mayor diversidad genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada y silvestre se encuentra en las tierras altas de los Andes de América del Sur, en el altiplano andino, y puede ser encontrada hasta los 4300 msnm. (Hawkes, 1990).

Se presume que la papa fue domesticada hace unos 10,000 años por la mujer andina cuando el hombre se dedicaba a la caza y pesca y se puede decir con certeza que este cultivo ha sido la base de las civilizaciones y culturas andinas (Estrada, 2000).

Actualmente, las papas son cultivadas y consumidas en más países que cualquier otro cultivo, y en la economía global son el cuarto cultivo en importancia luego de tres cereales: maíz, arroz y trigo. Se pueden afirmar que la papa representa uno del aporte más significativo para la alimentación humana (Contreras, 2003).

La papa es una planta dicotiledónea, herbácea y de carácter anual, que también puede ser considerada como perenne debido a su capacidad de reproducirse vegetativamente por medio de tubérculos. Las plantas presentan una parte aérea en la que se produce el crecimiento de tallos, hojas, flores y frutos, y una parte subterránea que comprende el tubérculo semilla, los rizomas, los tubérculos y las raíces. El tubérculo de papa se origina por ensanchamiento de la parte terminal del estolón, en el cual crece por efecto de la acumulación de hidratos de carbono (Contreras, 1997).

Faiguenbaum (1987) señala que la papa constituye un producto básico en la alimentación, debido a su alto contenido de hidratos de carbono, vitaminas y minerales. Su aporte energético es dos a cuatro veces superior al del maíz, y seis a diez veces superior al de los restantes cereales. Contreras, (2003) señala que mientras más nuevas o pelonas estén

las papas al momento de cosecharlas, mayor será su contenido de agua y menor su contenido de sólidos totales.

**Tabla 1.** Principales componentes de la papa

COMPONENTE	Rango %	Medida
Agua	63.2 – 86.9	75.0
Sólidos totales	13.1 – 36.8	23.7
Proteína	0.7 – 4.6	2.0
Grasa	0.02 – 0.20	0.12
Azúcares reductores	0.0 – 5.0	0.3
Totales carbohidratos	13.3 30.5	21.9
Fibra cruda	0.17 – 3.48	0.71
Ácidos orgánicos	0.4 – 1.0	0.6
Cenizas	0.4 – 1.9	1.1
Glicoalcaloides (solanina) (*)	0.2 – 41.0	3 – 10
Vitamina C (*)	1.0 – 54.0	10 – 25

**Fuente:** Adaptado de Contreras (2003).

### 2.1.1. Clasificación taxonómica

Las especies cultivadas de la papa están clasificadas dentro de la siguiente posición taxonómica según el Sistema de Engler: Citado por Hawkes, (1990).

Reino: Vegetal

División: Fhanerogamae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

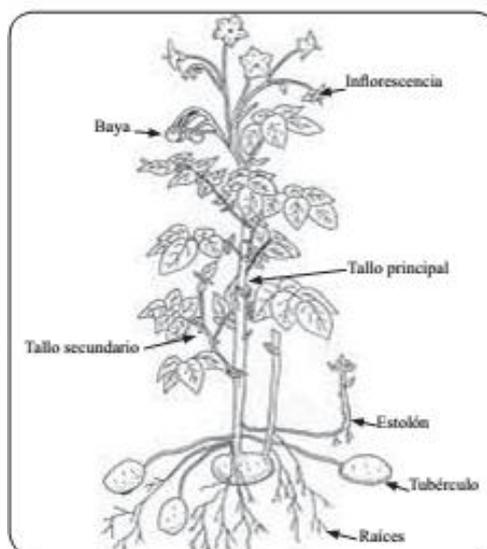
Género: Solanum

Especie: *Solanum tuberosum* L.

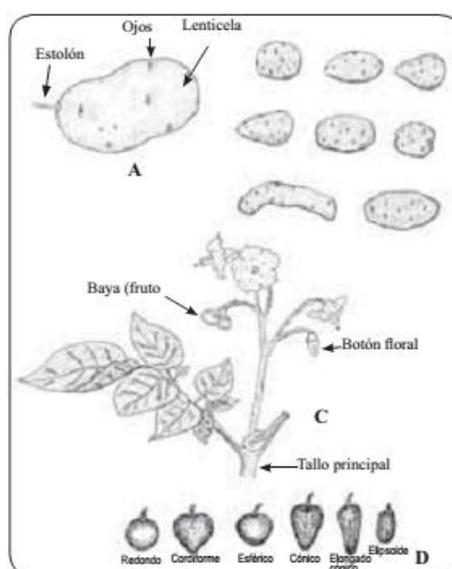
### 2.1.2. Descripción botánica y variedades

La planta de papa es de tipo herbáceo cuyo tamaño varía de 0,30 a 1 m de alto, según las variedades, con un crecimiento erecto o semierecto. Los tubérculos son tallos modificados y constituyen los órganos de reserva de la planta; varían en tamaño, forma y color de la piel y pulpa. Las yemas u ojos del tubérculo maduro permanecen latentes (dormancia) hasta que desarrollan un estolón de donde se origina una nueva planta. Los

almacenes de luz difusa ayudan a que los estolones no se desarrollen antes de la siembra. Las hojas son compuestas (ver Figura 6). La flor es bisexual, es decir que tiene estambres (masculino) y pistilos (femenino). El fruto maduro (tamborocoto, pepino) es una baya generalmente de color verde oscuro y contiene las semillas, denominadas semillas botánicas, para diferenciarlas de la semilla tubérculo (Tapia & Fries, 2007).



**Figura 1.** Papa. Planta y sus características botánicas, reproducido de Tapia, (1992).



**Figura 2.** Componentes de la papa, A. tubérculo, B. Formas de tubérculos, C. Rama florífera, D. Formas de la baya, reproducido de Tapia, (1992).

### 2.1.3 Nombres científicos de las especies cultivadas

Según Ochoa, (1990), existen nueve especies diferentes de papas:

- *S. goniocalyx*
- *S. phureja*
- *S. stenotomum*
- *S. tuberosum*
- *S. ajanhuiri*
- *S. chaucha*
- *S. juzepczukii*
- *S. curtilobum*
- *S. tuberosum ssp. andigenum*

#### 2.1.4 Distribución geográfica y requerimientos climáticos

Cada una de las nueve especies descritas por Ochoa tiene sus propias características morfológicas, así como adaptaciones altitudinales de hasta 4 300 msnm. La distribución de las diferentes especies de papa es muy amplia en los Andes y en general en el mundo entero. (Cosio, 2003).

**Tabla 2.** Nombre científico, nombre común y características agronómicas de las papas

Nombre Científico	Nombre común	Características agronómicas
<i>S. goniocalyx</i> (diploide)	Papa amarilla	Adaptación a climas templados
<i>S. phureja</i> (diploide)	Papa phureja	Soporta bajas temperaturas y mayor humedades
<i>S. stenotomum</i> (diploide)	Pitiquiña (aymara) Chiquiliña (quechua)	Resistente a las heladas
<i>S. tuberosum</i> (diploide)	Papa andina, Imillas	Buena capacidad de adaptación a diferentes climas
<i>S. ajanhuiri</i> (diploide)	Ajanhuiri	Resistente a las heladas
<i>S. chaucha</i> (triploide)	Papa temprana	Precoz y se adapta a condiciones de valle.
<i>S. juzepczukii</i> (triploide)	Papa amarga, Rucki	Resistente a las heladas
<i>S. curtilobum</i> (pentaploide)	Papa amarga, Occucuri	Resistente a las heladas
<i>S. tuberosum ssp.</i> <i>Andigenum</i> (tetraploide)	Papas nativas dulces	Buena capacidad de adaptación a climas fríos.

---

*S. hygrothermicum*                      Papa del trópico                      Soporta temperaturas altas.

---

Fuente: Cosio, (2003); (Canahua, 2002)

### 2.1.5 Clasificación de las papas

Existen nueve especies de papas según la taxonomía aceptada y propuesta por diferentes autores, las que se adaptan a diferentes climas.

Existen en los Andes de Perú y Bolivia más de 2 000 variedades de papas nativas. El conocimiento clasificado de los atributos y del uso de los tubérculos permite potenciar el recurso genético que tienen estas variedades nativas o cultivares y convertir a la región andina del Perú y de Bolivia en zona productora de papas de calidad, para responder a un exigente mercado nacional e internacional (Cosio, 2003).

**Tabla 3.** Variedades de papas nativas más importantes de Puno, Perú.

Grupo Imilla	Grupo		Diversos grupos	
	Pitiquiña			
Imilla blanca	Pitiquiña	Ccompis	Cuchicallo	Pucamari
Imilla negra	blanca	Yana	Tuni	Mari roja
Imilla negra	Pitiquiña roja	Ccoilo	Paula	Piña
Imilla rosada	Pitiquiña	Satumari	Luntusa	Candarave
Sani imilla	amarilla	Dacha lajra	Saccampaya	Chuiquiña
Alca imilla		Amajana	Santana	Huayro
negra		Llucta para	Albina	Lomos
Alca imilla		Amajana	Marinegra	Suritono
roja		Llucta para		
Zapallo imilla		Peruanita		
		Surimana		

**Fuente:** (Canahua, 2002)

## 2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PAPA (*Solanum ssp andigena*)

### 2.2.1. Apariencia microscópica

El almidón se encuentra organizado en pequeños gránulos con tamaños y formas característicos, dependiendo de la especie botánica (Badui, 2006), que son insolubles en agua a temperatura ambiente y en la mayoría de solventes orgánicos (Boyer & Shannon, 1987). Las diferencias morfológicas entre almidones de papa son mayores que entre cultivos de cualquier otra fuente botánica, dependiendo de las prácticas agrícolas (Singh et al., 2003), Mishra & Rai, (2006) quienes afirman que la forma de los gránulos de almidón de papa es elíptica, revelan formas circulares para los tamaños pequeños y elípticas para los tamaños grandes. El tamaño del gránulo del almidón varía entre 10 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro (Hoover, 2001) y es un factor determinante de su procesabilidad, ya que afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento del gránulo (Kaur, Singh, & Singh, 2002). Las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón y sus productos dependen de su naturaleza, morfología y estructura (Mali, Karam, & Pereira, 2004). Swinkels, (1985) menciona que los almidones de papa presentan una forma oval a esférica.

**Tabla 4.** Tamaño y forma de los gránulos de almidón de papa comparando con otras fuentes.

Almidones	Promedio ( $\mu\text{m}$ )	Intervalo ( $\mu\text{m}$ )	Forma
Makal	12.40	8-20	Esférica
Camote	12.41	8-28	Esférica
Yuca	16.50	8-22	Esférica, truncada
Sagú	10.64	4-20	Poligonal
Maíz	15	3-26	Poligonal
Papa	33	5-100	Oval, esférica

**Fuente:** Swinkels, (1985).

**Tabla 5.** Propiedades morfológicas de almidones de Maíz, Yuca y Papa, cálculo de volumen promedio de los gránulos de almidón.

Almidón	Pequeños de 1 a	Medianos de 7.5 a	Grandes > 15	Tamaño promedio
	7.5 $\mu\text{m}$ (%)	15 $\mu\text{m}$ (%)	$\mu\text{m}$ (%)	
Maíz	17.37	48.18	34.45	12.69
Yuca	31.89	53.63	15.48	10.38
Papa	15.91	49.55	34.55	15.22

**Fuente:** Medina & Salas, (2008).

### 2.2.2 Caracterización química

La composición proximal y el contenido de amilosa y amilopectina en el almidón de papa, la amilopectina se encuentra entre el 70% y 80% en peso, independiente del tamaño de los gránulos. Estas características hacen que el almidón de papa sea una fuente valiosa para la obtención de biopolímeros funcionales para la ciencia de los alimentos y de los materiales (Blennow, Smidt, & Leonhardt, 2003).

La papa contiene carbohidratos, proteínas, vitaminas como ácido ascórbico, sustancias fenólicas y ácidos nucleicos. La composición fisicoquímica tanto de la papa como la del almidón cambia según la variedad cultivada, la zona de crecimiento, la fertilización y el estado del ciclo de crecimiento de la planta (Liu *et al.*, 2007). El contenido de almidón en la papa varía entre 15% y 20% de su peso con un alto contenido de fósforo (0.08%) en comparación con almidones de otras fuentes (Li *et al.*, 2006).

**Tabla 6.** Composición química de los almidones de Makal, Camote, Yuca, Sagú, Maíz y Papa.

Componentes (%)	Makal	Camote	Yuca	Sagú	Maíz <sup>1</sup>	Papa <sup>1</sup>
Humedad	8.99	9.83	9.48	10.5	9.9	19
Proteína cruda	0.16	0.22	0.06	0.64	0.10	0.06
Grasa cruda	0.19	0.31	0.20	0.36	0.35	0.05
Fibra cruda	0.35	0.28	1.01	0.06	0.62	NR
Cenizas	0.12	0.26	0.29	0.22	0.06	0.40
ELN	99.28	98.93	98.44	98.72	98.93	99.49

Amilosa	23.6	19.6	17.0	22.7	28.3	21.0
Amilopectina	76.4	80.4	83.0	77.3	71.7	79.0

**Fuente:** Betancur, (2001)

### 2.3 ALMIDÓN

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Zhao & Wistler, 1994). Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria (Foostat, 2001).

El almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina, dos polisacáridos muy similares (Li *et al.*, 2006). La amilosa es el producto de la condensación de D–glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos (1,4) que conforman largas cadenas lineales de hasta 5000 residuos (Hoover, 2001) con pesos moleculares hasta de 1 millón, es decir, que la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucano, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa, la cual adquiere fácilmente una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice tiene seis moléculas de glucosa.

Por su parte la amilopectina contiene ramificaciones unidas por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15 – 25 unidades lineales de glucosa y su peso molecular es muy alto ya que las fracciones pueden alcanzar hasta  $10^7$  daltons . En el almidón de papa, la amilopectina se encuentra entre el 70% y 80% en peso, independiente del tamaño de los gránulos. Estas características hacen que el almidón de papa sea una fuente valiosa para la obtención de biopolímeros funcionales para la ciencia de los alimentos y de los materiales (Singh & Kaur, 2009).

Bello (2000), señala que estos dos polímeros presentan propiedades físicas y químicas diferentes, que inciden en las características de los alimentos en que intervienen. 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. En la práctica, las propiedades y características de cada tipo de almidón vienen a ser una función de las proporciones que contenga entre amilosa y amilopectina. La amilosa, como consecuencia de su estructura lineal, suele tener una gran tendencia a gelificar en caliente y precipitar cuando

se enfría como consecuencia del fenómeno de la retrogradación. En cambio, la amilopectina, al tener una estructura ramificada suele dar soluciones muy viscosas, pero no es capaz de formar las redes moleculares, propias de los geles. La relación de amilosa y amilopectina difiere del tipo de planta. Estas diferencias dan origen a las propiedades características en la cocción y la formación de gel (Parker, 2001). Estas propiedades también se refieren a la forma, tamaño, distribución de tamaño, composición y cristalinidad de los gránulos (Belitz & Grosh, 2009).

Debido a la fuerza de los enlaces de hidrógeno de las cadenas de las moléculas constituyentes de los gránulos de almidón, estos son insolubles en agua fría, pero a medida que la temperatura se eleva, alcanzando la temperatura de gelatinización, los gránulos comienzan a absorber el agua. La temperatura inicial de gelatinización es característica de cada almidón, pero usualmente se encuentra en un rango de 55 a 70°C (Coultate, 2009). La gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan (Fennema, 2000). El rango de gelatinización se refiere al rango de temperatura en la que todos los gránulos están completamente hinchados. Este rango difiere para los diferentes almidones. Sin embargo, a menudo se puede observar esta gelatinización, evidenciada por el aumento de la translucencia y mayor viscosidad (Parker, 2001).

La gelatinización depende de varios factores, incluyendo el contenido de agua, temperatura, agitación y la presencia de ácidos, azúcares, lípidos y proteínas. Estos factores necesitan trabajar en sincronía con el fin de que se produzca la gelatinización máxima (Brown, 2001).

Los cambios en las propiedades físicas del almidón pueden ser causados por estos tratamientos, sin embargo, varían según el origen botánico del almidón. En la siguiente Tabla 7 se muestran estos cambios antes y después de un tratamiento determinado.

**Tabla 7.** Propiedades Físico – químicas de almidones antes a) y después b) de un tratamiento térmico en un estado húmedo (T: 100°C; t: 16h; H<sub>2</sub>O: 27%).

PROPIEDAD	ALMIDÓN DE TRIGO		ALMIDÓN DE PAPA	
	a	b	a	b
Inicio de gelatinización (°C)	56.5 - 61		60 – 60.5	
Fin de gelatinización (°C)	62 – 74		68 – 79	

Capacidad de hinchazón a 80°C	7.15 – 5.94	62.3 – 19.5
Solubilidad a 80°C	2.59 – 5.93	31 – 10.1
Capacidad de retención de agua	89.1 - 182.6	102 – 108.7

**Fuente:** Belitz et al., (2009)

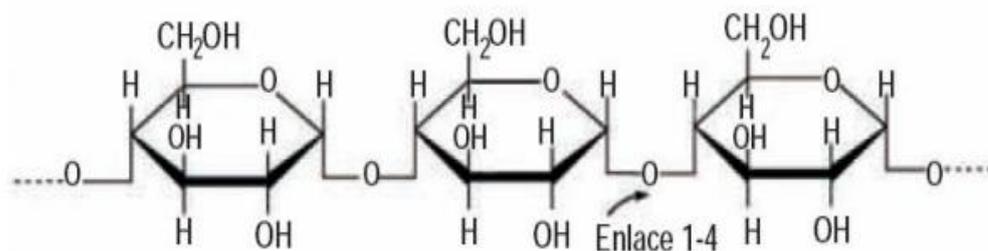
El almidón de los tubérculos y las raíces presenta un fuerte incremento de viscosidad durante el cocimiento, mucho mayor que el de los cereales. Los gránulos de almidón de papa, yuca y maíz ceroso presentan picos de viscosidad más altos que los de maíz y trigo. Esto es debido a que los almidones de papa, yuca y maíz ceroso tienen mayor capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación y se desintegran más rápidamente (FAO, 2007).

### 2.3.1 Amilosa

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon & Grove, 1994).

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.

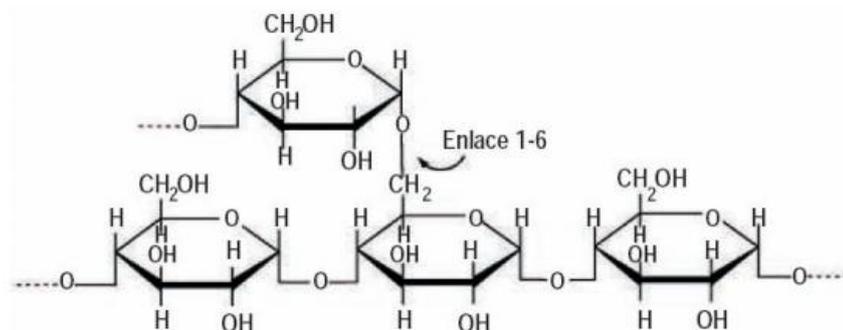
Algunas investigaciones recientes se han dedicado a determinar la relación entre la estructura del almidón y los comportamientos de gelatinización. La variación en las características estructurales de los polisacáridos, incluyendo el contenido de amilosa, tamaño molecular, el grado promedio de polimerización y la distribución de la longitud de la cadena, dan lugar a diferencias en las propiedades físico-químicas de los gránulos de almidón, tales como el poder de hinchamiento, propiedades térmicas, reológicas y de textura (Liu *et al.*, 2007).



**Figura 3.** Estructura de la molécula de amilosa, reproducido de Aristizábal & Sánchez, 2007.

### 2.3.2 Amilopectina

La amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan & Hanna, 2004).



**Figura 4** Estructura de la molécula de amilosa, reproducido de Aristizábal & Sánchez, (2007).

### 2.4 PODER DE HINCHAMIENTO

Cuando el almidón es calentado en exceso de agua la estructura cristalina se altera debido a la ruptura de enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestos de amilosa y amilopectina. Esto provoca un incremento en el hinchamiento del gránulo y en la solubilidad. El poder de hinchamiento y la solubilidad pueden ser utilizados para evaluar el grado de interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfos y cristalinos del gránulo. El hinchamiento del

almidón se produce en el mismo sentido que la pérdida de birrefringencia y precede a la solubilización (Sandhu & Singh, 2007).

El poder de hinchamiento es una medida de la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones específicas tales como: temperatura y disponibilidad de agua. Estudios anteriores han indicado que un mayor poder de hinchamiento es un indicio de fuerzas de unión más débil en los gránulos de almidón. (Guan & Hanna, 2004).

El poder de hinchamiento y la solubilidad incrementan a medida que aumenta la temperatura. Cuando aumenta la temperatura, en presencia de agua, la movilidad de las moléculas de almidón se incrementa debilitando las fuerzas de unión; así, un efecto paralelo se obtiene tanto en la capacidad de hinchamiento como en la difusión del agua en los gránulos de almidón. Este proceso también mejora la lixiviación de componentes solubles de los gránulos de almidón, conduciendo así a mejorar la solubilidad (Lawal *et al.*, 2011).

## 2.5. GELATINIZACIÓN

La gelatinización es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento del almidón en agua, el cual cambia de una forma semi-cristalina (la cual no es digerible), a una forma eventualmente amorfa (digerible) (Tester, 1997).

En condiciones de exceso de agua, los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres. Esto está definido por la movilidad de las cadenas de los polímeros por encima del valor de la temperatura de transición vítrea, ocurriendo el cambio de estado vítreo a gomoso. Este cambio a su vez, facilita la movilidad molecular en las regiones amorfas, siendo un proceso reversible y permitiendo el hinchamiento del gránulo, el cual se expande al mismo tiempo que los polímeros se hidratan. Posteriormente se produce una transición molecular irreversible, la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina (Tester, 1997).

La temperatura de gelatinización es aquella en la que se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia y el patrón de difracción de rayos X; esta temperatura es en realidad un intervalo, ya que los gránulos tienen diferente composición y grado de cristalinidad, aunque provengan de la misma fuente botánica, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros. Por esta razón se llega a presentar una diferencia de 8 a 12°C, teniendo como promedio 10°C entre la temperatura de gelatinización de los primeros gránulos ( $T_o$ ) y la de los últimos ( $T_c$ ). Este parámetro también se ve muy afectado por la

presencia de diversos compuestos químicos que favorecen o inhiben los puentes de hidrógeno (Graham, 1997).

## 2.6. PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DEL ALMIDÓN

Las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón, entre ellos se encuentra la composición proximal (contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y humedad), las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa. Cabe mencionar que en investigaciones realizadas reportan que el contenido de proteínas del almidón de yuca y de papa es bajo, cerca del 0.1%, comparado con el de los almidones de arroz y de maíz que tienen 0.45 y 0.35% respectivamente, a esto se suma que la proteína residual afecta el sabor y olor de los almidones de cereales y forma espuma. Los gránulos de almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos, comparado con los almidones de cereales (maíz y arroz) los cuales contienen 0.6 y 0.8% respectivamente (Hurtado, 1997).

Fennema, (2000), señala que todos los almidones retienen pequeñas cantidades de cenizas, lípidos y proteínas. El contenido de fósforo del almidón de papa (0,06-0,1%) es debido a la presencia de los grupos éster fosfatos de las moléculas de amilopectina. Según lo señalado por Hui *et al.* (2006) la importancia de la fosforilación se hace evidente cuando se considera que los monoesteres de fosfato del almidón aumentan la claridad y la viscosidad de las pastas de almidón y reduce la tasa de gelatinización y retrogradación.

## 2.7 PROPIEDADES REOLOGICAS DEL ALMIDÓN

Las características de empastado del almidón se determinan ya sea usando un Visco amilógrafo Brabender o un Visco Analizador Rápido (RVA). Los reómetros rotacionales u otros viscosímetros, que registran la viscosidad continuamente con respecto a los cambios de temperatura, también se utilizan para medir las propiedades de empastado (Lin & Yu, 2009)

Las propiedades de empastamiento del almidón son indicadores importantes de cómo el almidón se comportará durante el procesamiento. Las propiedades de empastamiento del almidón se utilizan para determinar la idoneidad del almidón en diferentes alimentos y otros productos afines. La característica de empastamiento más importante en la dispersión granular del almidón es su viscosidad. Una alta viscosidad de la pasta sugiere idoneidad

como agente 30 espesante en alimentos y como agente de acabado en las industrias textiles y de papel (Wani *et al.*, 2012).

La viscosidad del almidón aumenta con el calentamiento continuo hasta que la velocidad de hinchamiento del gránulo es igual a la tasa de colapso granular, la cual se denomina como viscosidad pico (PV). Esta viscosidad refleja el grado de hinchamiento o la capacidad de unión de agua del almidón y, a menudo se relaciona con la calidad del producto final, ya que el hinchado y los gránulos colapsados hacen referencia a la textura del almidón cocido. Una vez que se logra la viscosidad máxima, se observa una caída en la viscosidad, o ruptura, como resultado de la desintegración de los gránulos. La ruptura (breakdown) es una medida de la facilidad de desorganizar los gránulos de almidón hinchados y sugiere el grado de estabilidad durante la cocción (Adebowale & Lawal, 2003)

La viscosidad mínima, también llamada viscosidad de pasta caliente o fuerza de sujeción, marca el final de la etapa de mantenimiento a la temperatura máxima de la prueba RVA. La etapa de enfriamiento comienza y la viscosidad se eleva de nuevo (retroceso-setback) que es causada por la retrogradación del almidón, en particular por la amilosa. El retroceso es un indicador de la textura del producto final y se vincula a la sinéresis durante los ciclos de congelación-descongelación. La viscosidad normalmente se estabiliza en una viscosidad final o viscosidad de pasta fría, que está relacionada con la capacidad del almidón para formar una pasta viscosa o gel después de la cocción y del enfriamiento (Newport Scientific, 1998).

### **2.7.1 Propiedades de empaste del granulo de almidón**

Además de la utilización importante desde un punto de vista nutricional, el almidón es también utilizado a menudo en la industria de los alimentos por sus propiedades físicas. La propiedad de gelatinización del almidón hace que este sea ampliamente utilizado para mejorar la apariencia, estabilidad, textura y calidad de los alimentos (Antezana & Cobana, 2007)

La gelatinización es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento de almidón en agua, el cual cambia de una forma semi-cristalina (la cual no es digerible), a una forma eventualmente amorfa (digerible)

En condiciones de exceso de agua, los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres. Esto está definido por la movilidad de las cadenas de los polímeros por encima del valor de la temperatura de transición vítrea, ocurriendo el cambio de estado vítreo a gomoso. Este cambio a su vez, facilita la movilidad molecular en las regiones amorfas, siendo un proceso reversible y permitiendo el hinchamiento del grano. El gránulo se expande al mismo tiempo que los polímeros se hidratan. Posteriormente se produce una transición molecular irreversible, la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina (Tester & Debon, 2000).

La gelatinización es acompañada por un aumento en la viscosidad de la pasta de almidón. Simultáneamente con la hinchazón, las moléculas de amilosa lineales son desenrolladas, abandonando el gránulo, y se solubilizan en el medio circundante. El rango de temperatura y el aumento en viscosidad para cada almidón hinchado y su ruptura son específicos para cada almidón (Kim & Sester, 1992). En el calentamiento continuo, la mayoría de las pastas de almidón no modificados exhiben un decrecimiento en la viscosidad después que se ha alcanzado un máximo. Esta disminución es conocida como el fracaso de la pasta de almidón.

Este es el resultado de una gran solubilización y fragmentación de las estructuras del gránulo, de tal modo que ya no pueden sostener un volumen grande de agua (Kim & Sester, 1992).

### **2.7.2 Propiedades viscoelásticas del almidón**

En la mayoría de los casos los alimentos que contienen almidón son procesados por calentamiento en presencia de agua, permitiendo que el producto desarrolle algunas características como la viscosidad, firmeza y elasticidad entre otros. Sin embargo, estas características no se mantienen por un largo tiempo estable subsecuentemente del alimento. Algunos de los cambios están relacionados al proceso de retrogradación, producto del enfriamiento después del proceso de gelatinización – empaste. La retrogradación es el término utilizado para describir las interacciones moleculares, principalmente formación de enlaces de hidrógeno, que ocurre entre las moléculas de glucano en el almidón gelatinizado durante el enfriamiento (Santacruz, 2004)

La retrogradación se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos insolubles se reasocian después del calentamiento. Eventualmente se forman cristales, acompañados por un incremento gradual en la rigidez y la separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis). La aparición de cristales influye en la textura, digestibilidad y aceptación de los productos con base en almidón por parte del consumidor. Este fenómeno ocurre en geles de almidón o en productos horneados, fritos, o extruidos, donde las moléculas de almidón interactúan después del añejamiento (Tester & Debon, 2000).

La retrogradación de almidón es un problema cuando el gel es congelado y descongelado, como sucede con muchos productos alimenticios. Cuando el contenido de amilosa en el almidón es bajo, la magnitud de la sinéresis es reducida y la pasta de almidón es más estable. Por consiguiente, el almidón con un contenido bajo de amilosa se prefiere en ciertos productos (Santacruz, 2004).

Aparte de su influencia en la retrogradación, hay otras maneras en que el contenido de amilosa influye en las propiedades estructurales, funcionales y tecnológicas de almidón. El contenido de amilosa es generalmente asociado con una viscosidad máxima superior y una proporción baja de rotura en la estructura, así como una baja viscosidad final y menos retroceso (Kim & Setser, 1992).

El conocimiento de las características fisicoquímicas de un almidón es importante para seleccionar sus aplicaciones particulares. Aparte del contenido de amilosa otros factores como el peso molecular de amilosa y amilopectina, el grado de ramificación de las moléculas y su estructura fina molecular, contenido de lípidos y tamaño del gránulo, imparten las características de almidón. Sin embargo, en los cereales las propiedades de almidón parecen ser dominadas por la variabilidad del contenido de amilosa. Adicionalmente, gran cantidad de almidón disponible comercialmente no se usa en su forma nativa sino es químicamente o físicamente modificado para mejorar su funcionalidad para el uso en formulaciones de comidas modernas. En general, la mejora está dirigida hacia la estabilidad del almidón a altas temperaturas, estabilidad al corte, claridad de la pasta y estabilidad al congelado y descongelado. (Tester & Debon, 2000)

La mayoría de los almidones nativos son carentes de estas características en la mayoría de estos aspectos (Zobel, 1988).

## 2.8 REOLOGIA

La reología es la ciencia que estudia la deformación de los materiales incluyendo los que fluyen. Los datos reológicos son requeridos en la evaluación de calidad de los productos, cálculos de ingeniería y diseño de procesos (Sahin & Sumnus, 2007) Igualmente, la reología estudia la manera en la cual los materiales responden a un esfuerzo o deformación aplicados (Steffe, 1992).

Según Rizvi & Tong, (1997) con respecto a la textura, ésta puede ser definida como el grupo de características físicas que provienen de los elementos estructurales de los alimentos, evaluados sensorialmente a través del tacto, relacionados con la deformación, desintegración y flujo del alimento bajo una fuerza y medido objetivamente por funciones de masa, tiempo y distancia. La textura también hace referencia a la mezcla de los elementos relativos a la estructura del alimento y a la manera por la cual están relacionados con los sentidos fisiológicos, aunque no tiene una definición exacta, precisa y satisfactoria, se puede decir que posee ciertas características:

Se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento.

- Están relacionadas con la mecánica y la reología.
- No se trata de una propiedad sino de un conjunto de propiedades.
- No está directamente relacionada con el olor o el gusto

Para el entendimiento de la reología y textura de alimentos es importante considerar el esfuerzo (stress) y la deformación (strain). El esfuerzo está definido como fuerza por unidad de área, generalmente se expresa en Pascal ( $\text{Pa} \sim \text{N}/\text{m}^2$ ), éste puede categorizarse en dos grupos: Esfuerzo normal (normal stress) y esfuerzo de cizalla (shear stress). Las diferencias entre estos dos esfuerzos dependen del área sobre la cual actúa la fuerza. El esfuerzo normal ( $\sigma$ ) se define como la fuerza aplicada perpendicularmente al plano por unidad de área, el cual puede ser de tensión o compresión dependiendo si éste tiende a estirar o comprimir el material sobre el que actúa. En el esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ), el esfuerzo actúa tangencialmente a la superficie y es definido como la fuerza aplicada al plano por unidad de área (Sahin & Sumnu, 2007).

Con respecto a la deformación, es la unidad de cambio en tamaño o en forma de un material referido a su condición original (en tamaño o forma) cuando se aplica una fuerza. Así como el esfuerzo, la deformación también puede dividirse en dos grupos, deformación

normal (normal strain) y deformación de cizalla (shear strain). La deformación normal ( $\epsilon$ ) es el cambio en la longitud por unidad de longitud en la dirección en la que se aplica el esfuerzo normal. La deformación de cizalla ( $\gamma$ ) se define como el cambio en el ángulo formado entre dos planos que están previos a la deformación como consecuencia de la aplicación de un esfuerzo (Sahin & Sumnu, 2007).

Hay que tener en cuenta, que cuando se habla de comportamiento viscoelástico, significa que el material simultáneamente exhibe algunas de las propiedades elásticas de un sólido ideal y algunas de las propiedades de flujo de un líquido ideal. El comportamiento viscoelástico podría dividirse en dos grupos generales:

- Viscoelasticidad lineal, en la cual las propiedades reológicas dependen únicamente del tiempo y no de la magnitud o tasa de aplicación de un esfuerzo. La mayoría de los alimentos muestran viscoelasticidad lineal por encima de ligeras deformaciones de un pequeño porcentaje.
- Viscoelasticidad no lineal, donde las propiedades mecánicas están en función del tiempo del esfuerzo aplicado, la magnitud del esfuerzo y en ocasiones la velocidad a la cual se aplica el esfuerzo. El estudio de la viscoelasticidad no lineal es experimental y teóricamente más complicado que la viscoelasticidad lineal, estando aún en el rango en el cual muchos alimentos son comprimidos o cizallados en la boca (Bourne, 2002)

Los componentes viscosos y elásticos de fluidos viscoelásticos pueden medirse mediante pruebas oscilatorias de pequeña amplitud. El material de prueba usualmente se ubica entre un cono y plato o platos paralelos puestos en un reómetro con esfuerzo controlado y el cono o el plato oscila con respecto a un punto central con una velocidad angular sinusoidal a una baja amplitud mientras que el esfuerzo de cizalla es medido. Es una prueba no destructiva cuando la amplitud es pequeña. Para un sólido elástico el esfuerzo de cizalla estará en fase con la deformación, pero para un fluido newtoniano el esfuerzo de cizalla está  $90^\circ$  fuera de fase con la deformación. Para un fluido viscoelástico el esfuerzo de cizalla está una onda más atrás de la deformación para un ángulo de diferencia entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . La curva experimental esfuerzo de cizalla – tiempo puede dividirse en dos componentes (Bourne, 2002):

a. El componente del esfuerzo en fase con la deformación por cizalla está definido como el módulo de almacenamiento (o elástico)  $G'$ . Es la relación del esfuerzo en fase con la deformación.

Donde,  $\sigma'$  es el esfuerzo de cizalla en fase y  $\gamma$  es la deformación.

b. El componente del esfuerzo  $90^\circ$  fuera de fase con la deformación de cizalla es definida como el módulo de pérdida (o viscoso)  $G''$ . Es la relación del esfuerzo de cizalla fuera de fase con la deformación.

$$G' = \sigma' / \gamma$$

$$G'' = \sigma'' / \gamma$$

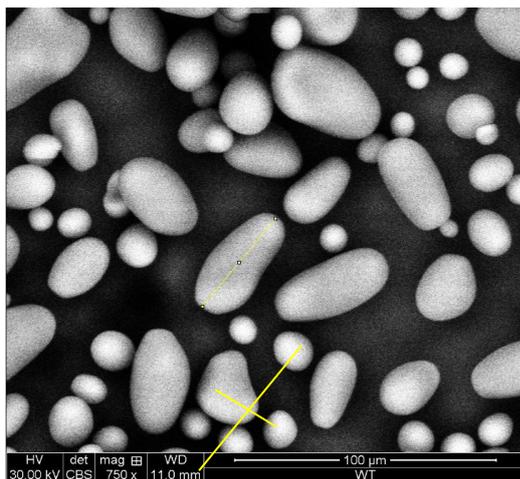
Donde,  $\sigma''$  es el esfuerzo de cizalla  $90^\circ$  fuera de fase.

Estas funciones a su vez se relacionan:

$$\frac{G''}{G'} = \text{Factor o tangente de pérdida (tan } \delta \text{)}$$

## 2.9. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El analizar una imagen tiene como fin, la cuantificación de las propiedades de los objetos, a través de los elementos que las componen, su origen y naturaleza (Lira, 2002). Es por esta razón que se considera una herramienta útil para determinar características morfológicas de los tejidos vegetales, además de tener ventajas sobre observaciones hechas de manera directa debido a que por medio de ella se obtienen evaluaciones objetivas, permite realizar mediciones in situ, se obtiene información diversa a partir de la toma de una sola medida, es relativamente económica ya que no consume reactivos, es susceptible de reducir al mínimo la intervención humana y puede aportar información sobre la textura, tamaño, forma y color (Jiménez, 2005).



**Figura 5.** Procesamiento digital de imágenes ImageJ.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó en:

- El Centro de Investigación de Productos y Alimento Naturales y en el Laboratorio de Físico Química, de la Universidad San Simón de Cochabamba Republica Plurinacional de Bolivia.
- Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

#### 3.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

En la elaboración del presente estudio experimental se han utilizado tres tipos de papa (*Solanum spp*): Huaycha Puneña, Imilla Negra y Loq'a.

Según el Centro de Estación Experimental Agraria Illpa INIA – Puno, las variedades mencionadas:

IMILLA NEGRA, se caracteriza por ser un tubérculo de forma redondeada de piel de color morado azulado, de pulpa blanca y con ojos profundos. es la variedad nativa más importante de la Región Puno por su excelente calidad culinaria.

HUAYCHA PUNEÑA, se caracteriza por ser un tubérculo de forma redondeada de piel de color rojizo con bandas de color crema, de pulpa blanca y con ojos profundos.

LOQ'A, son tubérculos de forma fusiforme de piel de color crema, de pulpa de color blanca y con ojos superficiales.

### 3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.3.1 Materiales

- Buretas 10 ml, 5 ml
- Pipetas 10 y 25 ml
- Matraz de Erlenmeyer 250 ml
- Probetas 10ml, 25 ml
- Crisoles de porcelana Diámetro de 90 x 35 mm.
- Lunas de reloj de 60 mm con peso de 3.7 g y de 70 mm con peso de 5.5 g
- Placas Petri de 47 mm de diámetro
- Embudos de 50 ml, 100 ml, 150 ml y 250 ml

#### 3.3.2 Equipos

- Licuadora SKYMSEN; voltaje de 110/220 V; frecuencia de 50 -60 Hz; potencia de 0.33 Cv; consumo de 0.26 Kw/h; 600 mm de altura, 200 mm de anchura, 200 mm de profundidad; peso neto de 7.2 Kg y peso bruto de 8,0 Kg; rotación de 3500 rpm.
- Malla de diámetro de 125  $\mu$ m superficie de tamizado de 34.20%; peso de 0.87 Kg/m<sup>2</sup>.
- Molino GM200 tamaño de partícula de entrada de 10 – 40 mm, tamaño de partícula final menor a 300  $\mu$ m; velocidad de cuchilla de 2000-1000 rpm; cantidad de material alimentado de 100 a 700 ml; dimensiones de 200\*270\*370 mm; duración de trituración de 1s a 3 min; peso 7.5 Kg; potencia de 750 W; funcionamiento por pulso.
- Estufa con flujo de aire BINDER; rango de temperatura ambiente de 5 a 350 °C; fluctuación de la temperatura de +/- 0.3 °C; selección de temperatura (°C) digital; Variación de temperatura a 70 °C:2.0, a 150 °C:3.4, a 300°C:7.0; cambio de aire /circulación 3/40 por min ; velocidad de flujo de aire de 0.8-1.2 m/ seg; máximo de disolvente admitido 6.65 g ; capacidad de 115 L; sistema de calefacción por convección forzada; carga máxima por bandeja de 20 Kg; dimensiones internas de

600\*435\*435 mm; dimensiones externas de 834\*685\*800 mm; peso de 90 Kg; consumo máximo de energía de 9000 W.

- Microscopio Electrónico de Barrido QUANTA 650; SEM 1 Kv 3.0 nm con BD; máxima corriente de haz 200 nA; modos de: alto vacío, bajo vacío por encima de 200 Pa y ESEM de 2600 Pa; de 50\*50\*50 mm; detección de estado sólido BSED, bajo vacío LFD y GAD; imagen por estrategias de barrido FEI Smartscan y DCFI; cámara externa NAPS Y Nav- Cam; cámara con 10 puertos.
- Analizador de humedad electrónico SARTORIUS MA30; capacidad máxima de pesada 30g; exactitud de medición del sistema de 1 mg; repetibilidad desde aprox. 1 g de peso y desde 5g de peso; legibilidad de valores al 0.01%; rango y reajuste de temperatura de 40°C-160°C ajustable en escalones de 1 grado; modo de calefacción por secado estándar; método de determinación totalmente automático; definición de tiempo de 1\*0.1-99 min; unidad calefactora por radiador metálico ;acceso a la cámara de muestras con cubierta abatible; variante de diseño opcional según reglamento FDA/HACCP; menú de comandos requeridos con textos y diálogos alfanuméricos y símbolos; reproTEST para la determinación de la repetibilidad técnica de la medición; número de lugares de memoria del programa de 1; memorización de datos de medición hasta el valor final del próximo análisis; impresora de valores de medición externa; impresión según estándar GLP configurable libremente; salida de datos RS 232 C unidireccional; lector de código de barras conectable; consumo de energía máximo de 400 VA; dimensiones de carcasa de 224\*366\*191 mm; peso aprox. De 5.8 Kg.
- Analizador de color Minolta CR 400; sistema de iluminación difusa y ángulo de visión de 0°; detección por fotoceldas de silicio; rango de valores de visualización de 0.01 % a 160 % de reflectancia; lámpara de xenón pulsada como fuente de iluminación; tiempo de medición de 1 s; intervalo de medición de 3 s; desempeño de la batería aprox. De 800 mediciones; área de medición de 8 mm a 11 mm; observación estándar a 2°; tolerancia de diferencia de color; espacio de diferencia de color L\*a\*b; pantalla de cristal líquido teclas de operación en inglés, alemán, francés, español y japonés;1000 conjuntos de datos almacenados; 100 diferencias de colores objetivo; 20 canales de calibración; interfaz compatible con RS – 232; alimentación eléctrica; dimensiones de 102\*24\*63 mm; peso aprox. De 550 g; condiciones de

funcionamiento con una temperatura de 0 a 40 °C y una humedad relativa interior de 85% sin condensación; tiempo de medición de 1 s e intervalo de medición de 3 s; desempeño de la batería de aprox. 800 mediciones.

- Mufla marca THERMOLYNE COORPORATION, modelo FD,520M; temperatura máxima 900°C y min de 100 °C; capacidad de 15 L; dimensiones de la cámara de 33\*18374.9 cm; uniformidad de cámara en 1000 ° C:  $\pm 2,2$  °; estabilidad de la cámara a 1000 ° C:  $\pm 2,2$  °; dimensiones exteriores de 48.5\*53.3\*74.9 cm; peso del producto de 60.8 Kg.
- Espectrofotómetro PERKIN ELMER 2301; Cantidad de parámetros: 20 - 90 dependiendo del modelo ; rango de longitud de ondas por selección automática; Accesorios como el adaptador de transferencia de datos (dta) rs-232 estuche portátil con Laterales flexibles interfaz con computadora; Pantalla con iluminación de fondo, lcd gráfico; ancho de banda espectral de 10 nm nominal; Exactitud de longitud de onda de  $\pm 1$  nm; registro de datos de hasta 50 puntos; calibración de longitud de onda fija automática ; Lámpara fuente de diodo electroluminiscente (led); Dimensiones: 23.6 x 8.67 x 4.72 cm (9.28 x 3.43 x 1.86 pulg); Peso: 0.45 kg (1 lb).
- Reómetro PHYSICA MCR 301; rodamiento por aire; motor EC ; torque máximo de 200 mm ; torque mínimo de rotación de 1 nm; torque mínimo de oscilación de 0.5 nm; deflexión angular de 0.05 a; velocidad angular mínima de  $10^{-9}$  Rad/s; velocidad angular máxima de 314 rad/s; velocidad máxima de 3000 rpm; frecuencia angular máxima de 628 rad/s; frecuencia angular mínima de  $10^{-7}$  rad/s; rango de fuerza normal de 0.005-50 N; resolución de fuerza normal de 0.5 N; gama de temperatura máxima de - 150 a 1000 °C; control /configuración automática del hueco(AGC);control de la deformación directo; controlador del esfuerzo directo; perfiles de velocidad normal; Accesorio Smart Starch ST 24.
- Balanza electrónica: Marca OHAUS, con capacidad e 5000 g, exactitud de 0.1g.; tamaño de plato de 14\*13 cm; unidades de pesada en gramos, onzas y newtons; alimentación con 3 pilas lr6 incluidas; adaptador de corriente; vida útil de la batería de 300 horas; función de tara.

### 3.3.3 Reactivos

- Metabisulfito de sodio 96%

- HCl 37.0%
- Sulfito de sodio 0.5%
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.255 N (7.05 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en 1L)
- NaOH 0.313 N (12.5 g de en 1L)
- KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 99.5%
- Molibdato de amonio 54% Mo + 7%N
- Solución de hidroquinona 2%
- Fenolftaleina
- Etanol
- Solución patrón de amilosa y amilopectina (0,10,24.9,50.9,75.1)%
- Solución de yodo (0.0065 mol IK +0.0025 mol I<sub>2</sub> /ml de agua)
- Agua destilada

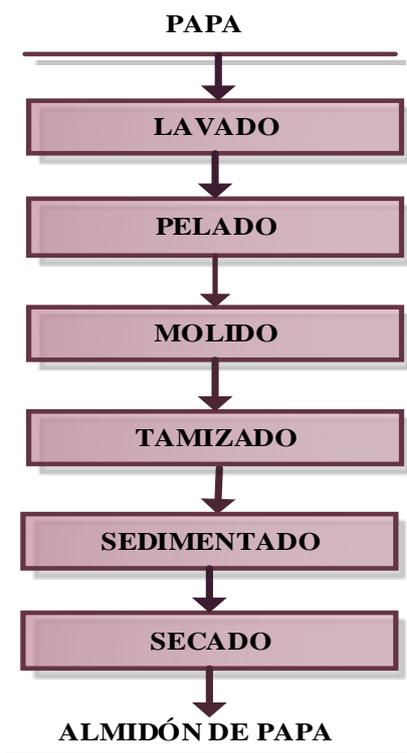
### 3.3.4 Otros materiales

- Envases Cierre ZIP
- Cinta adhesiva de doble contacto

## 3.4 METODO DE ANÁLISIS

El presente trabajo de investigación se realizará en dos etapas tal como se describe a continuación.

### 3.4.1 Extracción del almidón



**Figura 1:** Diagrama de obtención de almidón de papa (Hurtado, 1997).

### 3.4.2 Descripción del proceso

a) **Materia Prima:** Se utilizó tres variedades de papa: Huaycha Puneña, Imilla negra y Loq'a

b) **Lavado:** Se lavaron las papas con agua destilada.

c) **Pelado:** Se eliminaron la cáscara de las papas.

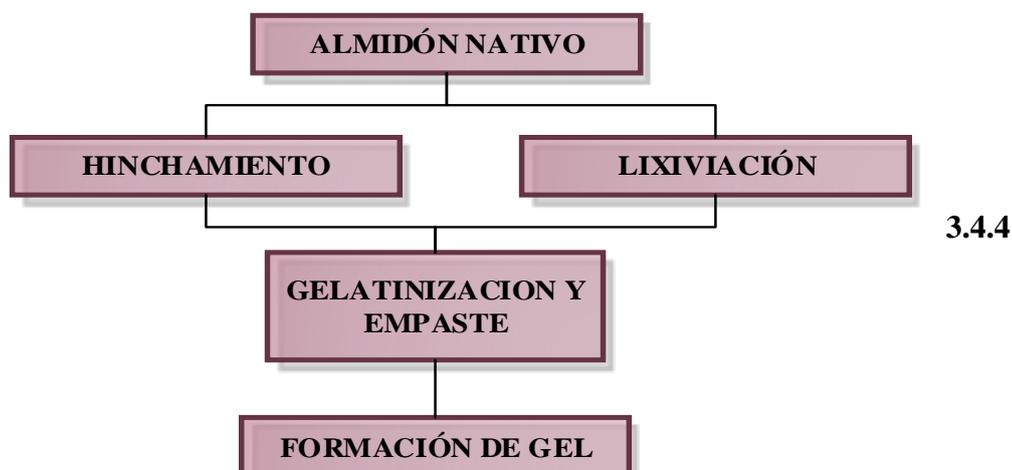
d) **Molido:** Se picaron las papas en forma de cubos los cuales se sumergieron en agua filtrada, se licuo por tres minutos, luego de cada minuto se añadía medio litro de agua filtrada.

e) **Tamizado:** El tamizado se realizó con agua carbonatada hasta que el agua sea transparente, se usó una tela de seda de 125 $\mu$ m.

f) **Sedimentado:** Luego del tercer filtrado se dejó sedimentar 1.30 minutos hasta que el almidón se encuentre en el fondo del envase, vaciar el agua y colocar el almidón en un recipiente de acero inoxidable.

g) **Secado:** Se llevó a la estufa los almidones a 40°C x 15 h. Luego se eso, pasar a pesar los almidones.

### 3.4.3 Determinación de las propiedades reológicas del almidón



#### Aislamiento de almidones de tres variedades de papa nativa

Los almidones en estudio fueron obtenidos aplicando la técnica tradicional por vía húmeda a escala laboratorio, siguiendo el procedimiento indicado por Antezana, R., & Cobana, M. (2007), en el cual fue modificado en algunas etapas. El proceso de extracción comprendió las operaciones generales de lavado de raíces, descascarillado, troceado del tubérculo en un tamaño de 2 cm., licuado del tubérculo con agua des ionizada en una licuadora Skymsema una velocidad media por 3 minutos, tamizado utilizando una malla de diámetro de 125  $\mu\text{m}$  (con un subsiguiente lavado con agua carbonatada hasta que del lavado salga agua cristalina), posteriormente vaciar el almidón en un recipiente de acero inoxidable, secado (40°C) por 15 horas en estufa con flujo de aire, obteniéndose gránulos de almidón de 35 – 40  $\mu\text{m}$ .

Con fines comparativos y para determinar el efecto de la adición de metabisulfito en las propiedades reológicas de los almidones, se utilizó este compuesto en el proceso de obtención en las etapas de molido y tamizado a una concentración de 0.1% (100 ppm) con la finalidad de inhibir las enzimas causantes de la oxidación de este almidón, buscando de esta manera obtener un almidón de mejor calidad. La concentración de metabisulfito utilizada fue la permitida en la industria de alimentos 100 ppm.

Sobre los almidones obtenidos se procedió a determinar sus características fisicoquímicas y reológicas (propiedades de empaste y viscoelasticidad).

### **3.4.5. Observaciones de la forma y tamaño de los gránulos de almidón obtenidos**

Para un mejor estudio e interpretación de los datos reológicos se observó al microscopio los gránulos de almidones obtenidos de las tres variedades de papas nativas.

Las observaciones microscópicas fueron efectuadas en un Microscopio Electrónico de Barrido SEM modelo QUANTA 650.

### **3.4.6 Determinación de propiedades físico químicas de los tres almidones obtenidos**

#### **3.4.6.1 Determinación del contenido de humedad**

Para la determinación del contenido de humedad de los diferentes almidones obtenidos, se procedió a utilizar un analizador de humedad electrónico SARTORIUS MA20, siguiendo las especificaciones respectivas para el almidón, el cual se basa en el secado de la muestra con determinación simultánea de la pérdida de peso.

El funcionamiento del analizador de humedad es de 105 °C con un peso de aproximadamente de 3 g. En un tiempo de 5 – 7 minutos, parámetros controlados para la determinación de humedad en féculas.

El analizador de humedad MA20, Figura 6, consta de un sistema de pesada con una cantidad de 7 g. Con un máximo y un mínimo de 1 mg. En el interior de la cubierta se encuentra dos radiadores oscuros infrarrojo de diseño especial para el calentamiento uniforme, en la cámara para la muestra se encuentra incorporado un sensor de temperatura, el cual, en base a la resistencia, transmite la temperatura real medida a la electrónica, que regula la temperatura.

Para la determinación de la calidad de los almidones su posterior uso en los diferentes ensayos, es importante conocer el contenido de humedad de las diferentes muestras.



**Figura 6.** Analizador de humedad electrónico – infrarojo MA20

### 3.4.6.2 Determinación de color

Un criterio físico importante de calidad es el color, por lo que cada muestra de almidón es caracterizada por este parámetro, utilizando un colorímetro, basado en tres coordenadas de color, denominadas  $L^*$  (Luminosidad),  $a^*$  (rojez),  $b^*$  (amarillez). El instrumento fue calibrado contra un estándar blanco de referencia.



**Figura 7.** Analizador de Color Minolta CR4

### 3.4.6.3. Determinación del contenido de fósforo

Otro parámetro importante de evaluación es el fósforo, el cual se determina utilizando el método colorimétrico, en un equipo SP-8 ultravioleta Spectrophotometer PERKIN ELMER 2301, previa calcinación, tratamiento ácido de mineralización de la muestra y separación de interferentes, los resultados son mineralización de la muestra y separación de interferentes, los resultados son obtenidos en mg/100 g solo de los almidones sin tratamiento en base seca. (Betancur,2001)

#### 3.4.6.4. Determinación de Amilosa y Amilopectina

Dos polisacáridos, amilosa y amilopectina, conforman los gránulos de almidón. La proporción de estos dos compuestos confieren propiedades particulares a las pastas y geles, y por lo tanto presentan un efecto significativo en sus propiedades reológicas (retrogradación) del almidón. Se determinó el contenido de amilosa en los diferentes almidones por el método colorimétrico. (Hoover,2001)

#### 3.4.6.5 Desarrollo de las propiedades de empaste de las tres variedades de almidón

Los almidones son sometidos a condiciones de calentamiento con la finalidad de contar con una medición precisa del proceso de gelatinización – empaste para lo cual es utilizada una técnica de reometría rotacional. La preparación de las pastas de almidón, se realizaron utilizando un reómetro Physica MCR301 con un accesorio SmartStarch sistema de medida ST24, el cual incluye un dispositivo de termostatación eléctrico y un agitador especial para almidones que previene la sedimentación en fase líquida. Como resultado se obtienen curvas del proceso de gelatinización – empaste y gelificación (gelación) durante el calentamiento enfriamiento.



**Figura 8.** Reómetro Physica MCR301

Las curvas muestran el comportamiento reológico del almidón durante la gelatinización y empaste, en la que una suspensión del almidón es sometida a un perfil determinado de temperatura.

El ensayo comenzó a 45°C, la muestra de almidón preparada a una concentración del 5% (base seca), se calentó a una velocidad de termostatación de 6°C/min, hasta una temperatura de 90°C, se mantiene 90°C por 5 minutos (etapa de cocción) y luego se enfrió a 6 °C/min hasta 45°C. La velocidad de rotación seleccionada durante el test fue de 160 rpm. Cada medida se realiza por duplicado.

Este ensayo permite obtener resultados de los siguientes parámetros: temperatura de gelatinización, viscosidad inicial, viscosidad máxima (viscosidad pico), viscosidad al final del calentamiento, viscosidad de la pasta fría. Estos parámetros expresados en unidades de mPas\*s, son determinados según el software del equipo de reología. Para efecto de cálculos se denomina a la viscosidad máxima (viscosidad pico) PV, viscosidad al final del calentamiento (viscosidad mínima de la pasta caliente) HPV y la viscosidad de la pasta a 45 °C (viscosidad de la pasta fría) CPV. Por otro lado, también son calculadas e interpretadas las características reológicas como estabilidad asentamiento y consistencia. Entendiéndose como *estabilidad* la diferencia entre la viscosidad del pico máximo y la viscosidad al final del periodo de calentamiento (PV – HPV); *Retrogradación* la diferencia entre la viscosidad de la pasta fría y la viscosidad máxima; *Consistencia* la diferencia entre la viscosidad de la pasta fría y la viscosidad final del calentamiento.

#### **3.4.6.6 Determinación de las propiedades viscoelásticas de los geles obtenidos a partir de los almidones en estudio**

En este punto se investigará la firmeza y elasticidad de los geles con la ayuda del análisis oscilatorio (amplitud y frecuencia), obtenidos a partir de los almidones, los cuales serán sometidos a un proceso completo de empaste. Los ensayos se realizarán en el reómetro Physica MCR301.

Las medidas reológicas son realizadas aplicando la técnica de reometría oscilatoria de pequeña deformación. Previamente las suspensiones de almidón serán sometidas a un proceso completo de empaste aplicando el mismo procedimiento (misma rampa de temperatura) que, para la caracterización de empaste, para luego bajar la temperatura de 45°C a 23°C, manteniendo en reposo estable por una hora.

Para las medidas correspondientes se utilizó el mismo sistema de medida ST24, el cual permitió obtener los valores relativos y no así absolutos, que serán de utilidad solo para fines comparativos.

El rango de viscoelasticidad lineal (LVE), fue determinado a través de un barrido de amplitud e aun frecuencia angular de  $10 \text{ s}^{-1}$ . Se seleccionó dentro de este rango una deformación del 1% para los barridos de frecuencia de todas las muestras.

Todas las muestras gelificadas serán medidas a través de un barrido de frecuencia, determinando las características estructurales de los diferentes geles, Los cambios en los parámetros reológicos serán monitoreados cada dos segundos.

Las pastas fueron sometidas primeramente a un test de frecuencia, que consiste en mantener constante la amplitud de  $y=1\%$ , y cambiando la variable angular de  $\omega = 100 \text{ s}^{-1}$  a  $\omega = 0.01 \text{ s}^{-1}$  dentro del LVE.

Posteriormente se realiza el test de amplitud que se desarrolla a una frecuencia constante de  $\omega = 10 \text{ s}^{-1}$  y variando la amplitud de  $y= 0.01\%$  hasta  $y = 100\%$ .

Como resultado de este ensayo se obtienen las siguientes propiedades a una temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Modulo elástico  $G'$  (solido)
- Modulo viscoso  $G''$  (liquido)
- Tangente del ángulo de desfase ( $\text{Tan } \delta$ ) vs. Frecuencia de oscilación.

#### Viscosidad compleja

Se determina el módulo de almacenamiento ( $G'$ ), el módulo de pérdida ( $G''$ ) y el ángulo de desfase ( $\text{Tan } \delta$ ) para estudiar las características visco elásticas de los geles obtenidos de los diferentes almidones obtenidos para sin y con pretratamiento.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE LOS TRES ALMIDONES OBTENIDOS

#### 4.1.1 Contenido de humedad y color

**Tabla 8.** Parámetros de humedad y color de las tres variedades de almidón

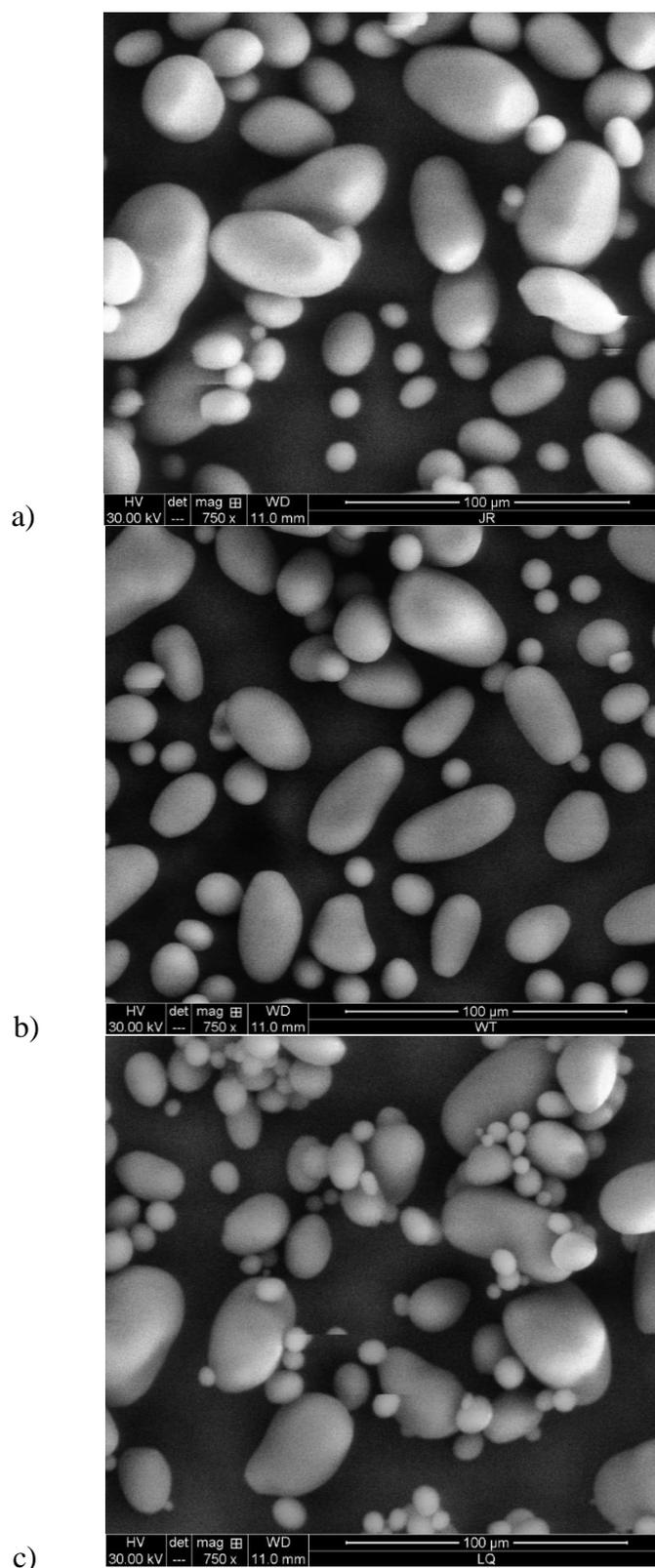
ALMIDÓN	HUMEDAD (%)	L*	a*	b*	WI
Huaycha Puneña (HP)	10.275 ± 0.134	85.485 ± 0.219	-1.285 ± 0.007	1.58 ± 0	60.755 ± 1.27
Loq'a (Lq)	10.29 ± 0.339	85.12 ± 0.056	-1.275 ± 0.1	0.95 ± 0.028	62.41 ± 0.183
Imilla Negra (IM)	10.345 ± - 0.049	87.895 ± 0.106	-1.975 ± 0.1	0.925 ± 0.1	67.81 ± 0.268

L\*: Luminosidad; a\*: Rojez; b\*: Amarillez; WI: Índice de blancura

Como se observa en la Tabla 8 existen pequeñas diferencias en la luminosidad de los almidones de las diferentes variedades en estudio lo que se puede deber a dos factores: primero condiciones operacionales de extracción de los almidones como concentración de antioxidante, pH, calidad del agua, etc. Segundo a factores propios de la composición en amilosa y amilopectina que de alguna manera afectan las propiedades ópticas de los mismos. Se verán en los otros resultados obtenidos como la distribución micro estructural de los almidones la composición en la cantidad de fosforo, y sus propiedades reológicas en general si estas diferencias son propias de la estructura interna de los almidones de cada variedad en relación a sus propiedades específicas que les dan estas condiciones particulares.

### 4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE LAS TRES VARIEDADES DE PAPA

La morfología de los gránulos de almidón Depende de la bioquímica del cloroplasto o Amiloplasto, así como la fisiología de la planta. Misha, S., & Rai, T. (2006).



**Figura 9.** SEM de gránulos de almidón de tres variedades de papa nativa a) Huaycha Puneña, b) Imilla negra c) Loq'a, tamaño de la barra 110 µm a 750 x (CITE Materiales PUCP - Lima Perú).

**Tabla 9.** Características morfológicas de las tres variedades de papa.

FUENTE DE ALMIDON DE PAPA	GRANULOS PEQUEÑOS (%)(1-10µm)	GRANULOS MEDIANOS (%)(11-25µm)	GRANULOS GRANDES (%)(>25 µm)	VOLUME N MEDIO (µm3)	SUPERFICIE ESPECIFICA Área (m <sup>2</sup> /g)
Huaycha	8	27	65	6820	0.195
Puneña (HP)					
Imilla Negra (IM)	12	28	60	6230	0.213
Loq'a (Lq)	15	35	50	3480	0.251

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FOSFORO

En la Tabla 10 Se presentan los resultados del contenido de fosforo para cada almidón de las tres variedades de papa.

**Tabla 10.** Contenido de fosforo

ALMIDÓN	FÓSFORO (mg/100g)
Huaycha Puneña (HP)	91.12 ± 0.5
Loq'a (Lq)	57.09 ± 0.8
Imilla Negra (IM)	69.94 ± 0.7

**Fuente:** Elaboración propia

El cuadro anterior muestra que la variedad HP presenta mayor contenido de fosforo lo que influenciara en las propiedades de empaste y reológicas de los almidones en estudio las otras dos variedades presentan contenidos por debajo de lo estudiado por otros autores lo que condiciona el uso funcional de los mismos. Sin embargo, muestra la gran aptitud de la variedad HP para poder ser usado en diferentes condiciones como estabilizante, espesante. Propiedades que se estudiarán también en esta tesis de grado.

El fosforo es uno de los no carbohidratos presentes en los almidones de papa y su presencia y cantidad afecta significativamente las propiedades funcionales de los mismos

(Kaur, L., Singh, N., & Singh, S. , 2002) según este mismo autor el contenido de fósforo en los almidones de papa se encuentra en promedio 0.090% y en los cereales alrededor de los 0.003% lo que determina sus propiedades funcionales en ambos casos. El fósforo está presente como monoésteres de fosfato y fosfolípidos en diversos almidones. Los grupos fosfato, esterifican a la fracción de amilopectina del almidón de papa, contribuyen a su alta Capacidad de retención de agua, viscosidad, transparencia y estabilidad a los procesos de congelación-descongelación

El Contenido de fósforo y la forma en que se encuentra en el almidón de papa está influenciada por las condiciones de crecimiento de la planta, temperatura y condiciones de poscosecha y almacenamiento de los tubérculos.

#### **4.4 CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA**

El contenido de amilosa de los gránulos de almidón varía con la fuente botánica del almidón y se ve afectada por las condiciones climáticas y tipo de suelo durante el crecimiento. El contenido de amilosa del almidón de papa varía entre 23% al 34% dependiendo del tipo de genotipo (Kim, S., & Sester, C. 1992).

Según, Singh *et al.* (2003) el contenido de amilosa en la diferentes variedades y genotipos de papa varían entre 21 y 32 % las muestras analizadas en este proyecto de investigación se encuentran a los límites máximos de estos porcentajes, sin embargo la variedad HP es quien presenta mayor contenido de amilosa lo que se ha podido verificar con la distribución de los tamaños de los gránulos de almidón y por la forma ovoide de los mismos se prevé por otros estudios realizados que se debe a la presencia de amilosa lo que será comprobado en las propiedades visco elásticas y de empaste, esta mayor cantidad de amilosa le da características especiales a los almidones de esta variedad HP, lo que se traduce en un potencial de uso en aplicaciones como espesante, almidones modificados, coadyuvante, films, etc.

El contenido de amilosa es un importante criterio en la determinación de las propiedades de un almidón, por su estrecha relación con las características reológicas en cuanto a su firmeza, sinéresis y retrogradación del gel obtenido. La Tabla 11 nos muestra los valores en cuanto al contenido de amilosa y amilopectina en los almidones obtenidos según la variedad de papa del que provienen.

**Tabla 11.** Contenido de amilosa y amilopectina de las tres variedades de almidón de papa

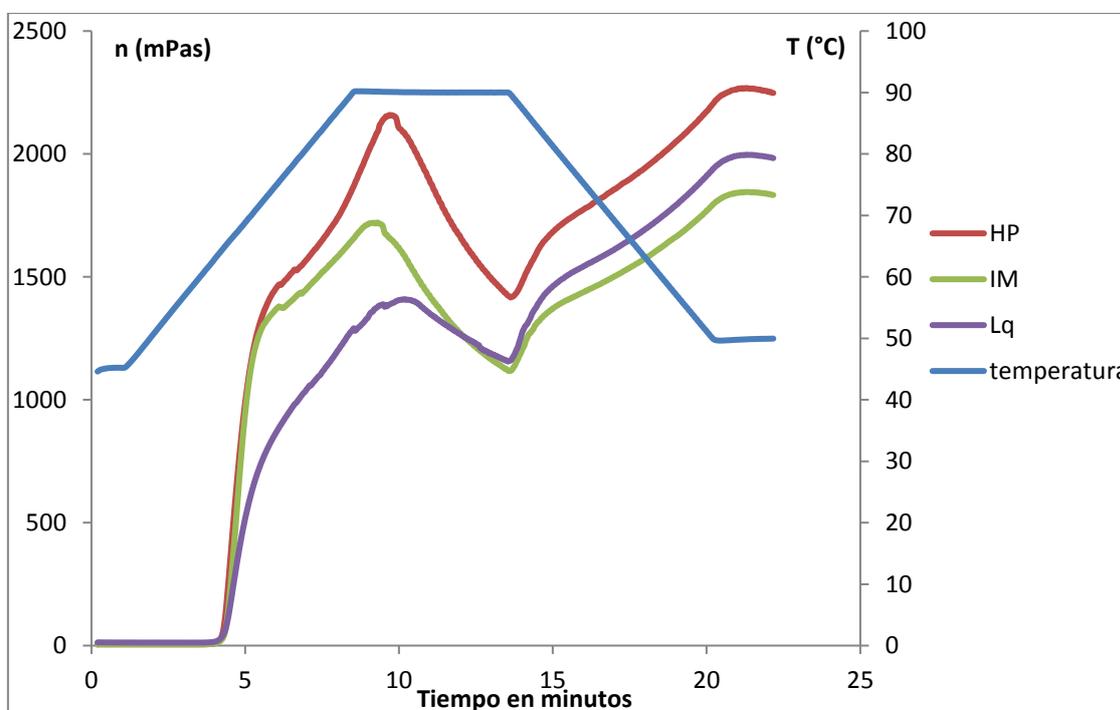
ALMIDÓN	AMILOSA (%)	AMILOPECTINA (%)
Huaycha Puneña (HP)	38.45	61.55
Imilla Negra (IM)	32.97	67.03
Loq'a (Lq)	35.68	64.32

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.5 PROPIEDADES DE EMPASTE DE LOS ALMIDONES DURANTE EL PROCESO DE CALENTAMIENTO

Los perfiles de viscosidad que describen el comportamiento de empaste de los almidones se muestran en la Figura 10, y los parámetros de empaste resultantes se enumeran en la Tabla 12.

El aumento de la viscosidad con el calentamiento se debe al hinchamiento de los gránulos de almidón, es decir, Un aumento en el volumen de la fase, pero también a la forma y a la deformabilidad de los gránulos hinchados que influencia en la Viscosidad.



**Figura 10.** Curvas de empaste de las tres variedades de almidón de papa.

Como se muestra en la Figura 10, los resultados de las pruebas de empaste muestran que la variedad HP es la que tiene mejores condiciones de respuesta al efecto de la temperatura y las fuerzas de cizalla y fricción, presenta mejor estabilidad a la retrogradación ya que su pico más bajo de viscosidad se encuentra por encima de las otras variedades lo que la hace más estable en condiciones de calentamiento y enfriamiento cabe señalar que según Lin, Q., & Yu, F. (2009) las temperaturas de empaste se encuentran directamente relacionadas a las temperaturas de inicio de gelatinización estudiadas por DSC, en este caso la variedad que tiene mejor perfil de gelatinización es la variedad Loq'a (Lq).

Según Lin, Q., & Yu, F. (2009) la disminución en la viscosidad después de alcanzar el pico máximo de la misma no es deseable ya que muestra la ruptura total de la estructura molecular de los gránulos de almidón que en muchos usos industriales es indeseado, en este caso en nuestro estudio la que mejor perfil presenta respecto a esta propiedad es la variedad HP.

En resumen, los valores de los perfiles de empaste de las variedades estudiadas se encuentran dentro de los parámetros observados en otras fuentes de estudio sin embargo se evidencia que la variedad HP es la que presenta mejores perfiles para ser usado en muchas aplicaciones industriales por su capacidad de resistencia a las fuerzas de cizalla en condiciones de calentamiento y enfriamiento.

**Tabla 12.** Propiedades de empaste de las tres variedades de papa.

Fuente de Almidón de Papa	Temperatura de empaste (°C)	Viscosidad máxima(mPas)	Fuerza de retención (mPas)	Ruptura Inferior (mPas)	Viscosidad Final (mPas)
Huaycha Puneña (HP)	59,74	2158	1417	740,4	2248
Imilla Negra (IM)	59,82	1720	1117	603,5	1833
Loq'a (Lq)	59,86	1409	1156	253,1	1983

**Fuente:** Elaboración propia

Las temperaturas de empaste en las tres variedades no presentan diferencias significativas lo que se traduce en la correcta utilización de la metodología de estudio es decir en los porcentajes adecuados de concentración de agua, tiempos, barridos, etc.

Existe marcada diferencia en las propiedades viscosas en relación a la variedad HP que demuestra lo que se evidenciaba en la distribución de los gránulos de almidón del análisis de imagen de las micrografías teniendo perfiles óptimos de estabilidad a la fricción y temperatura.

#### **4.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROPIEDADES VISCOELASTICAS DE LOS GELES OBTENIDOS A PARTIR DE LAS TRES VARIETADES DE ALMIDÓN DE PAPA**

La cocción de los almidones da como resultado soluciones espesas (viscosas) que al ser enfriadas a temperatura ambiente de 23°C, produjeron geles con diferentes grados de firmeza, los cuales fueron objetivo de estudio para una caracterización reológica.

Durante la gelatinización, el gránulo de almidón se hincha hasta varias veces su tamaño inicial, luego se produce una ruptura del mismo y simultáneamente la amilosa sale del interior del gránulo formando un lixiviado tri dimensional.

El comportamiento de hinchamiento del almidón es propiedad de su contenido de amilopectina, y la amilosa actúa como un diluyente y como un inhibidor de la hinchazón (Mali, S., Karam, L., & Pereira, L. G. 2004).

El reómetro dinámico permite la evaluación continua de los módulos dinámicos durante el calentamiento continuo a una frecuencia de barrido de las suspensiones de almidón que forman geles. El Módulo dinámico de almacenamiento ( $G'$ ) es una medida de la energía almacenada en el material y recuperada por él. Mientras que el módulo de pérdidas ( $G''$ ) es una medida de la energía disipada o perdida por ciclo de deformación sinusoidal estas dos propiedades se pueden analizar mediante pruebas de barrido de frecuencia y amplitud en este proyecto se han desarrollado las dos técnicas para encontrar  $G'$  y  $G''$ , como se muestra a continuación:



Figura 11. Prueba reológica y gel obtenido.

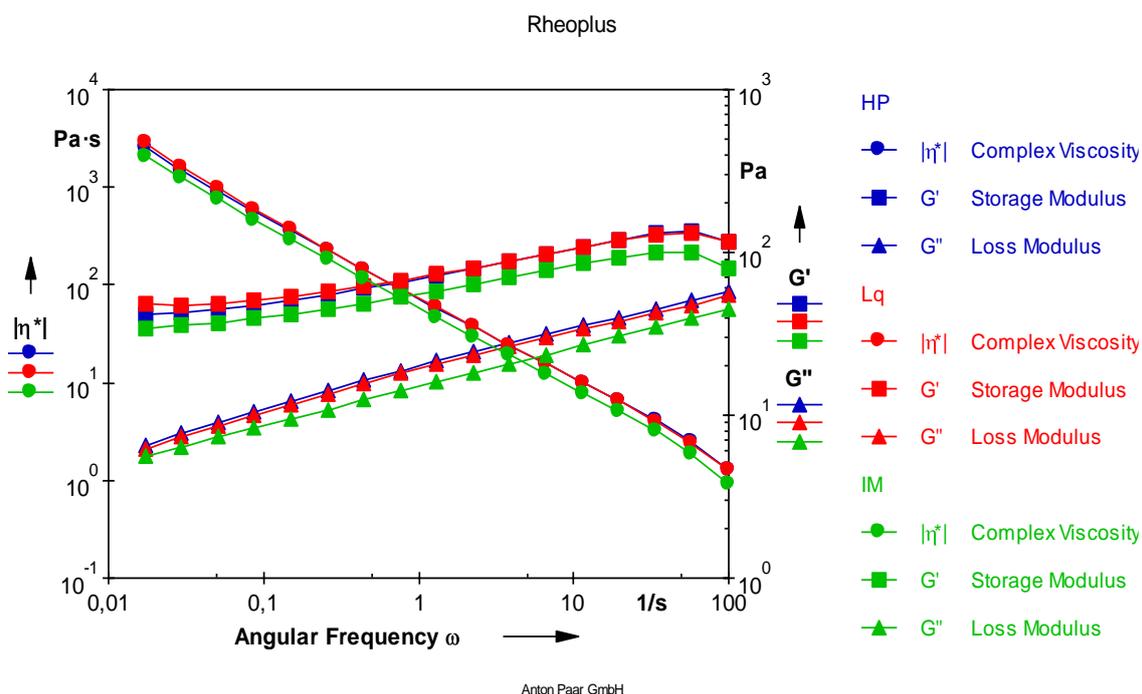


Figura 12. Barrido de frecuencia de geles de tres variedades de almidón de papa (Frecuencia de barrido 0.01 a 100 1/s) RHEOPLUS/32 V3.62 21002418-33025 Anton Par.

Tabla 13. Muestras de gel de almidón de la variedad HP.

Muestras	Frecuencia angular	Módulo de almacenamiento	Módulo de pérdidas	Viscosidad Compleja	Angulo de deflexión	Torque
	[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa·s]	[mrad]	[μNm]
1	100	1.16E+02	5.70E+01	1.30E+00	1.05E+00	1.40E+01
2	58.2	1.34E+02	5.04E+01	2.47E+00	1.05E+00	1.55E+01
3	33.8	1.30E+02	4.50E+01	4.07E+00	1.05E+00	1.49E+01

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14.** Muestras de gel de almidón de la variedad Lq.

Muestreos	Frecuencia angular	Módulo de almacenamiento	Módulo de pérdidas	Viscosidad Compleja	Angulo de deflexión	Torque
	[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa·s]	[mrad]	[μNm]
1	100	1.16E+02	5.50E+01	1.28E+00	1.05E+00	1.39E+01
2	58.2	1.33E+02	4.71E+01	2.42E+00	1.05E+00	1.52E+01
3	33.8	1.28E+02	4.23E+01	4.00E+00	1.05E+00	1.46E+01

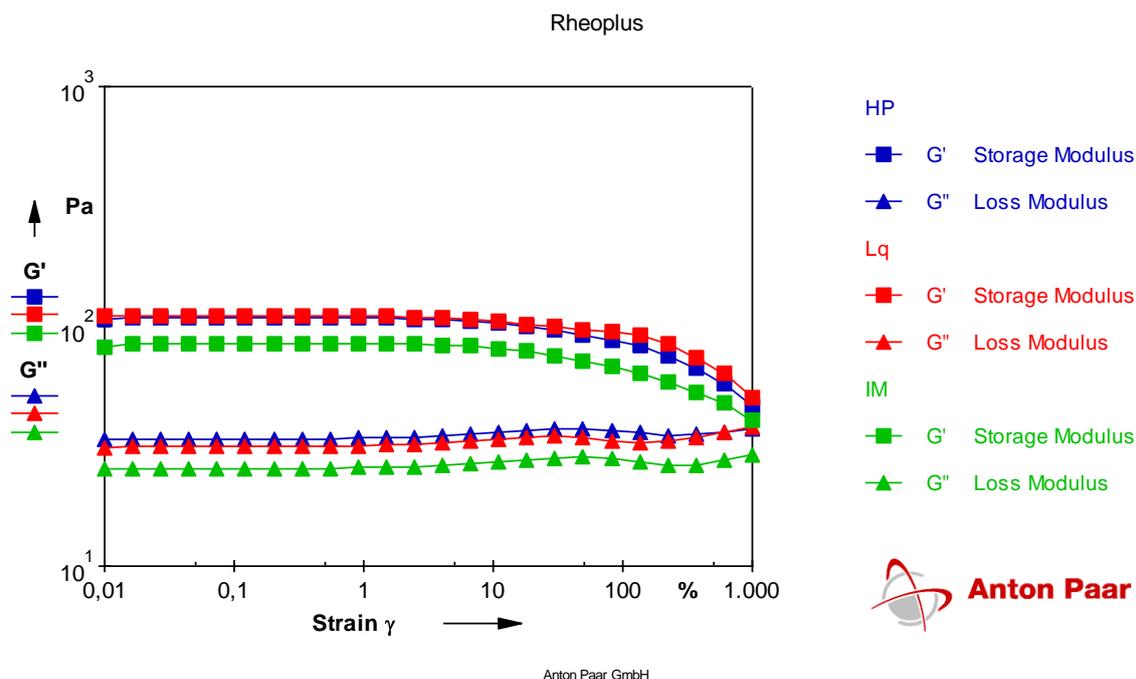
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 15.** Muestras de gel de almidón de la variedad IM.

Muestreos	Frecuencia angular	Módulo de almacenamiento	Módulo de pérdidas	Viscosidad Compleja	Angulo de deflexión	Torque
	[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa·s]	[mrad]	[μNm]
1	100	7.98E+02	4.53E+01	9.18E+00	1.05E+00	9.93E+00
2	58.2	1.01E+02	3.97E+01	1.86E+00	1.05E+00	1.17E+00
3	33.8	9.98E+02	3.48E+01	3.12E+00	1.05E+00	1.14E+00

**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante un barrido de amplitud se pudo caracterizar la consistencia de los geles en reposo con respecto a la estabilidad de la dispersión durante el almacenamiento. Este test oscilatorio fue realizado a una frecuencia angular constante de 10 1/s y una amplitud variable de 0.01 % a 1.0 %. La Figura 13 muestra los resultados del test para las tres variedades a una concentración del 5% en base seca.



**Figura 13.** Barridos de amplitud de geles de tres variedades de almidón de papa.

Como se muestra en los cuadros y figuras del análisis de las propiedades viscoelásticas que se ha realizado por barrido de frecuencia y amplitud se observa que los geles de los tres almidones en estudio son estables siendo los módulos de almacenamiento( $G'$ ) y de pérdidas( $G''$ ) estable a los dos barridos de frecuencia y amplitud sin embargo la variedad HP presenta diferencias respecto a las otras dos variedades lo que demuestra que esta variedad tiene propiedades óptimas para ser usada en procesos industriales y en especialidades culinarias de gastronomía lo que permitirá revalorar variedades sub utilizadas y en algunos casos olvidadas de nuestra bio diversidad como es el caso de la papa Huaycha Puneña (HP)

## CONCLUSIONES

Según la caracterización reologica de los tres tipos de almidón obtenido se observa: dentro del estudio de las propiedades de empaste se concluye que los almidones presentan diferentes comportamientos de acuerdo a la variedad y procedencia de los almidones.; en el estudio de las propiedades viscoelásticas se observó que con los resultados de amplitud se comprobó que a una deformación constante dentro de un tiempo determinado , los geles son afectados , perdiendo agua y otras propiedades, de las cuales la variedad Imilla Negra y la variedad Loqa fueron las más afectadas, y en menor proporción la Huaycha Puneña.

Según la evaluación de los componentes fisicoquímicos : la variedad Huaycha Puneña (HP) muestra propiedades optimas a nivel micro estructural lo que demuestra que la relación entre sus propiedades físicas, térmicas químicas relacionadas con procesos térmicos de calentamiento enfriamiento son estables dando la posibilidad de uso de esta variedad en procesos específicos de conservación, o en preparaciones especiales de gastronomía y además en usos industriales específicos dentro de la industria de los almidones.

## RECOMENDACIONES

- Para los próximos estudios se deberá determinar las propiedades de empaste de los almidones en estudio a diferentes rampas de temperatura, tiempo de manera que nos permita conocer los posibles cambios y efectos que estos pudieran causar en las propiedades de empaste
- Realizar estudios sobre el efecto de la relación amilosa – fosforo en las propiedades de empaste y viscoelásticas para un uso en la industria.
- Realizar pruebas de empaste y viscoelásticas cuando se efectúa una mezcla de almidones con características ya definidas, de manera que se conozca su sinergismo entre almidones de distintas variedades.
- Difundir los resultados resaltando la importancia de la funcionalidad de los almidones estudiados, ya que estos podrían ayudar a otorgar un valor agregado a estos cultivos.

## REFERENCIAS

- Adebowale, K., & Lawal, O. (2003). Functional Properties and Retrogradation Behaviour of Native and Chemically Modified Starch of Mucuna Bean (*Mucuna pruriens*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1541- 1546.
- Aldabe, I., Arrieta, B., Díaz de Ilarraza, A., Maritxalar, M., Niebla, I., Oronoz, M., & Uria, L. (2006). *The Use of NLP tools for Basque in a multiple user CALL environment and its feedback. TAL & ALAO workshop.*
- Antezana, R., & Cobana, M. (2007). *Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca.* 24(1), 78- 84: Centro de alimentos y Productos Naturales, Facultad de Ciencias y Tecnología.
- Aristizabal, J., & Sanches, T. (2007). *Extracción de almidón de yuca. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.* Roma- Italia: FAO.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos.* Mexico D. F: Pearson Educación.
- Belitz, H., & Grosh, W. S. (2009). *Food Chemistry.* Berlin: Springer- Verlag.
- Bello, S. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos.* Mexico D. F: Pearson Education.
- Betancur, D. (2001). *Caracterización Molecular, Nutricia y Funcional de Almidones de Phaseolus lunatus y Mucuna pruriens.* Mexico: Tesis (Doctorado en Ciencias, alimentos), Instituto Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biologicas.
- Blennow, A., Smidt, A., & Leonhardt, P. B. (2003). Starch paste stickiness is a relevant native starch selection criterion for wet-end paper manufacturing. *Starch*, 55: 381-389.
- Bourne, M. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. *Academic Press, San Diego*, 13- 16 .
- Boyer, C., & Shannon, J. (1987). Carbohydrates of the kerne. Corn: Chemistry and Technology. *American Association of Cereal Chemists*, 254 - 271.
- Brown, A. (2001). *Understanding food: principles and preparation.* USA: Wadsworth.
- Canahua, A. (2002). *Gestión del espacio agrícola y agro biodiversidad en papa y quinua en las comunidades campesinas de Puno.* Puno, Perú: SEPIA IX.
- Contreras, A. (1997). *Producción de papa-semilla sana para pequeños agricultores del sur de Chile.(s.p.)* . Valdivia- Chile: Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias.

- Contreras, A. (2003). *Papa. In: Faiguenbaum, H (ed). Labranza, siembra y producción de los principales cultivos en Chile*. Chile: Universidad de Chile.
- Cosio, P. (2003). *Informe de clasificación de papas nativas en Lares*. Cusco, Perú: Informe Proyecto In Situ.
- Coulter, T. (2009). *Food: The Chemistry of its Components*. Inglaterra. Inglaterra.
- Estrada, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. La Paz: PROINPA, CIP, CID.
- Faiguenbaum, H. (1987). *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Santiago - Chile.
- Fennema, R. (2000). *Química de los alimentos*. España: Zaragoza.
- Foastat. (2001). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma, Italy: FAO Database.
- Graham, H. (1997). Influence of the hulles, waxy starch and short-awn genes on the composition of barleys. *Journal of cereal Science*, 26. 251-257.
- Guan, J., & Hanna, A. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 5, 2329- 2339.
- Hawkes, J. (1990). *The potato evolution biodiversity and genetic resources*. Belhaven Press: London UK.
- Hoover, J. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 45(3):253-267.
- Hui, Y., Nin, W., Nollet, L., Paliyath, G., & Simpson, B. (2006). Food Biochemistry and Food Processing. 769.
- Hurtado, J. (1997). Valorización de las amiláceas “no-cereales” cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. *Carbohydrate Polymers*, 45(3): 253-267.
- Jiménez, J. (2005). *Aplicación de la geometría fractal a agregados celulares de Beta vulgaris C. crecidos en suspensión*. Centro de desarrollo de productos bióticos . Yauatepec, Morelos: IPN.
- Kaur, L., Singh, N., & Singh, S. (2002). Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chem*, 79: 183-192.

- Kim, S., & Sester, C. (1992). Wheat Starch Gelatinization in the Presence of Polydextrose or Hydrolyzed Barley Beta- Glucan. *Cereal Chemistry by the American Association of Cereal Chemistry*, 69: 447- 452.
- Knutzon, C., & Grove, M. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal chemistry*, 71, 469.
- Lawal, S., Lapasin, R., Bellich, B., Olawiola, T., cesaro, A., & Yosimura, M. (2011). Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids*, 1785-1792.
- Li, X., Scanlon, M., Liu, Q., & Coleman, W. (2006). Processing and value addition. En: J. Gopal y A. M. P. Khurana (eds.). Potato production improvement and post-harvest management. *Haworth Press. Nueva York*, 523- 555.
- Lin, Q., & Yu, F. (2009). Characterization of the pasting, flow and rheological properties of native and phosphorylated rice starches. *Stach/Stärke*, 69, 148- 163.
- Lira, C. (2002). *Introducción al tratamiento digital de imágenes 1era edición*. México: IPNUNAM; FLE.
- Liu, Q., Jayakody, L., Hoover, R., & Donner, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers*, 69, 148- 163.
- Mali, S., Karam, L., & Pereira, L. G. (2004). Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *Agric. Food Chem*, 52: 7720- 7725.
- Medina, J., & Salas, J. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Rev. Ing. Univ. Andes*, 27: 56- 62.
- Misha, S., & Rai, T. (2006). "Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches". *Food Hydrocolloids*, 557- 566.
- Newport, S. (1998). *Applications manual for the Rapid visco analyzer using thermocline for windows*. Australia.
- Ochoa, C. (1990). *The potatoes of South America*. Bolivia: Cambridge University Press.
- Organization), F. (. (2007). ). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Raíces, tubérculos, plátanos y bananas en la nutrición humana*. Roma, Italia: Colección FAO: Alimentación y nutrición Humana.
- Parker, R. (2001). *Introduction to Food Science*. Delmar Thomson Learning. USA: Delmar Thomson Learning.

- Rizvi, A., & Tong, C. (1997). Fractional Conversion for Determining Texture Degradation Kinetics of Vegetables. *Journal of food Science*, 62.
- Sahin, S., & Sumnus, S. (2007). *Rheological Properties of Foods*. New York: ISBN.
- Sandhu, K., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101, 1499- 1507.
- Santacruz. (2004). Characterization of Potato Leaf Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 1985- 1989.
- Singh, J., & Kaur, L. (2009). Advances in potato chemistry and technology. *Elsevier Inc*, 92 -107.
- Singh, J., Kaur, L., Singh, N., & Singh, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem*, 81: 219- 231.
- Steffe, J. (1992). Viscoelastic properties of doughs. In: *Viscoelastic Properties of Solids and Semisolid Foods*. *Elsevier* .
- Swinkels, J. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch*, 37, 1-5.
- Tapia, M. (1992). *Estudio agrobotánico de los huertos familiares en Cajamarca*. Cajamarca, Perú: CUSO-Programa Cajamarca.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO y ANPE.
- Tester, R. (1997). Starch: structure and functionality. *Royal society of Chemistry*, 163- 171.
- Tester, R., & Debon, S. (2000). Annealing of starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1- 12.
- 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.
- Wani, A., Sing, P., Shah, M., Achweiggert, U., Gul, k., & Wani, I. (2012). Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal and physicochemical properties. *Food Science and Food Safety*, 417- 436.
- Zhao, J., & Wistler, R. (1994). Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *food Technology*, 104-105.
- Zobel, H. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch/Stärke*, 40, 44- 50.

ANEXOS

Anexo 1



Figura 14. Variedad Huaycha Puneña



Figura 15. Variedad Imilla Negra



Figura 16. Variedad Loq'a

Anexo 2



Figura 17. Variedad Huaycha Puneña 1Kg de muestra



Figura 18. Variedad Imilla Negra 1Kg de muestra



Figura 19. Variedad Loq'a 1Kg

Anexo 3



Figura 20. Variedad Huaycha Puneña – pelado



Figura 21. Variedad Imilla Negra – Pelada



Figura 22. Variedad Loq'a – pelada

Anexo 4

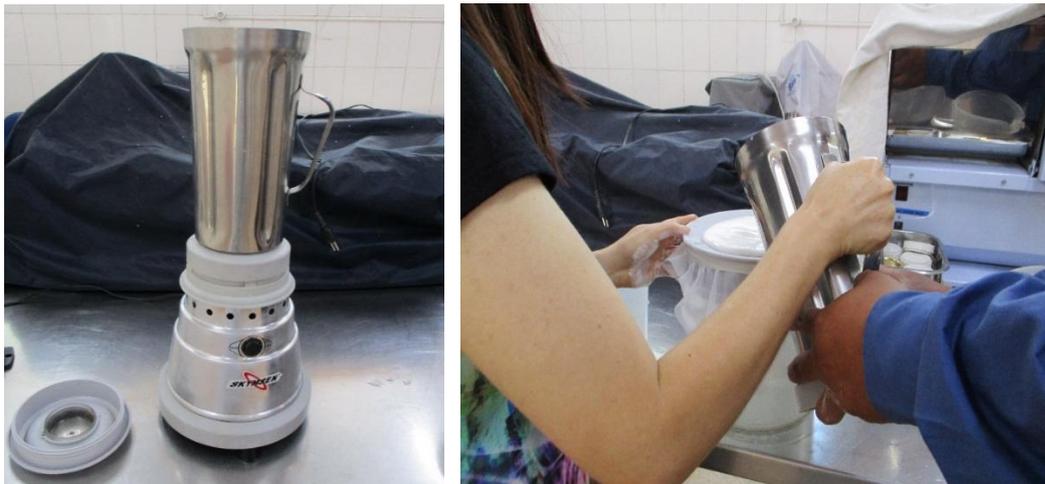


Figura 23. Extracción de almidón de papa.



Figura 24. Filtrado de las muestras

## Anexo 5



Figura 25. Secado de las muestras de almidón de papa a 40°C x 15Hrs.

Anexo 6



Figura 26. Almidones obtenidos de las tres variedades de papa

**Anexo 7**



Figura 27. Determinación de color – colorímetro Minolta

**Anexo 8**



Figura 28. Análisis de humedad de los almidones

Anexo 9.

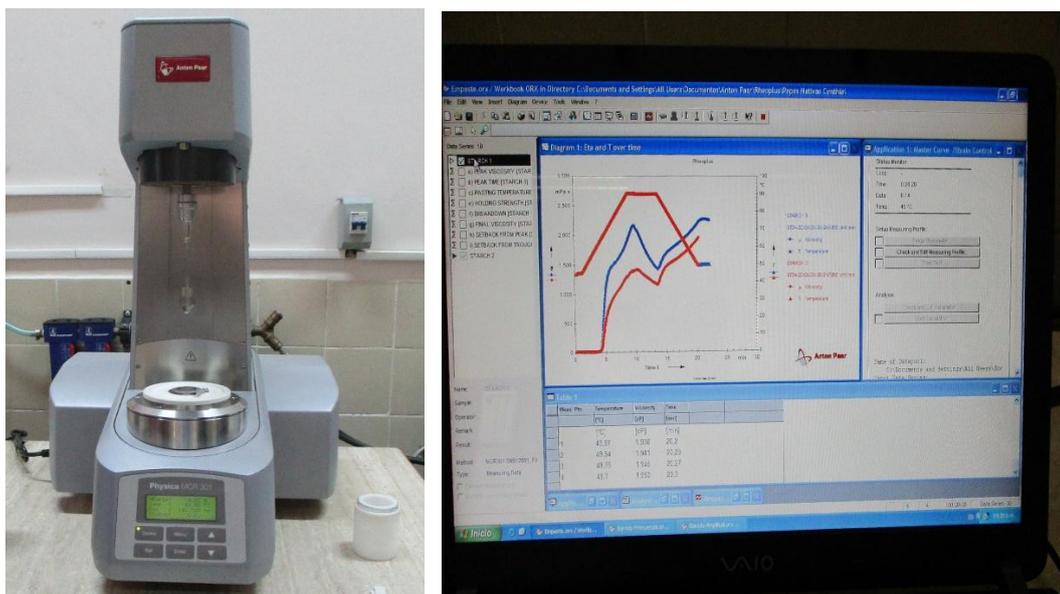


Figura 29. Reometro Physica MCR 301 y curvas de empaste.

Anexo 10



Figura 30. Gelificación del almidón de papa.

Anexo 11



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN - FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
**CENTRO DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES**



**RELOAA**  
REG. DE LABORATORIOS OFICIALES DE ANÁLISIS DE PUNO

Inf. No.2-127/16  
Pág. 2 de 3  
Original 1 de 1

**INFORME DE ENSAYO FISICOQUIMICO**  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Cliente: CYNTHIA CASTILLO SANTOS	Dirección: PERU
Producto: ALMIDON PUNEÑA (HP)	
Envase: Bolsa plástica	Cantidad: 8 g
Procedencia: Nacional	Lote: ----- Elab.: ---- Venc.: ----
Fecha recepción en laboratorio: 2016/03/11	Hrs: 16:59
Fecha de análisis: 2016/03/15 AL 2016/03/17	Hrs: 16:10
Observaciones: ninguna	

**TABLA DE RESULTADOS**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	Método de Ensayo, referencia	Normas ó rangos
Fósforo	mg/100g	91,12	CHARLOT, Francia (1966)	-----

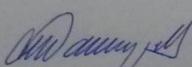
Observaciones: Análisis realizados sobre muestra entregada en laboratorio por el solicitante

**ANÁLISIS FISICOQUIMICO:** El parámetro fue determinado realizando los análisis por duplicado como mínimo y la tabla de resultados ha sido elaborada con los valores ponderados.

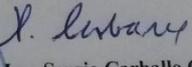
El método empleado para la determinación parámetro fue:

**FOSFORO:** Método colorimétrico, basado en el complejo coloreado del fósforo y el fósfolimodato de amonio a una longitud de onda máxima de 700 nm., en un equipo SP-8 ultravioleta spectrophotometer PYE-UNICAM, previa calcinación, tratamiento ácido de mineralización de la muestra y separación de interferentes. (Ref.: Método GASTON CHARLOT, "Análisis Cuantitativo de Minerales", Pag. 837 (1966) Paris).

Cochabamba, 28 de marzo de 2016



M.Sc. Lic. Raúl Domínguez Chura  
Responsable Laboratorio Servicios  
Centro de Alimentos y Productos Naturales

M.Sc. Ing. Sergio Carballo Cadima  
Director  
Centro de Alimentos y Productos

Calle Sucre frente parque La Torre • Teléfono-Fax: 00591 4 4251877 • 00591 4 4549810 • Email: alimentos@fcyt.umss.edu.bo • Cochabamba

Figura 31. Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Huaycha puneña



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN - FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
**CENTRO DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES**



**RELOAA**  
Inf. No.1-127/16  
Pág. 1 de 3  
Original 1 de 1

**INFORME DE ENSAYO FISICOQUIMICO**  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Cliente: CYNTHIA CASTILLO SANTOS	Dirección: PERU
Producto: ALMIDON IMILLA NEGRA (1M)	
Envase: Bolsa plástica	Cantidad: 8 g
Procedencia: Nacional	Lote: ----- Elab.: --- Venc.: ---
Fecha recepción en laboratorio: 2016/03/11	Hrs: 16:59
Fecha de análisis: 2016/03/15 AL 2016/03/17	Hrs: 16:10
Observaciones: ninguna	

**TABLA DE RESULTADOS**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	Método de Ensayo, referencia	Normas ó rangos
Fósforo	mg/100g	69,94	CHARLOT, Francia (1966)	-----

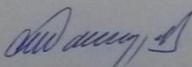
Observaciones: Análisis realizados sobre muestra entregada en laboratorio por el solicitante

**ANÁLISIS FISICOQUIMICO:** El parámetro fue determinado realizando los análisis por duplicado como mínimo y la tabla de resultados ha sido elaborada con los valores ponderados.

El método empleado para la determinación parámetro fue:

**FOSFORO:** Método colorimétrico, basado en el complejo coloreado del fósforo y el fosfomolibdato de amonio a una longitud de onda máxima de 700 nm., en un equipo SP-8 ultravioleta spectrophotometer PYE-UNICAM, previa calcinación, tratamiento ácido de mineralización de la muestra y separación de interferentes, (Ref.: Método GASTON CHARLOT, "Análisis Cuantitativo de Minerales", Pag. 837 (1966) Paris).

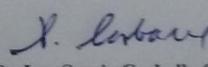
Cochabamba, 28 de marzo de 2016



M.Sc. Lic. Raúl Domínguez Chura  
Responsable Laboratorio Servicios  
Centro de Alimentos y Productos Naturales

V°B°





M.Sc. Ing. Sergio Carballo Cadima  
Director  
Centro de Alimentos y Productos Naturales

Alle Sucre frente parque La Torre • Teléfono-Fax: 00591 4 4251877 • 00591 4 4549810 • Email: alimentos@fcyt.umss.edu.bo • Cochabamba - Bolivia

Figura 32. Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Imilla Negra.

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN - FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
**CENTRO DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS NATURALES**

**RELC**  
Inf. No.3-127/16  
Pág. 3 de 3  
Original 1 de 1

**INFORME DE ENSAYO FISICOQUIMICO**  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

Cliente: CYNTHIA CASTILLO SANTOS	Dirección: PERU
Producto: ALMIDON LOQA (Lq)	
Envase: Bolsa plástica	Cantidad: 8 g
Procedencia: Nacional	Lote: ----- Elab.: ---- Venc.: ----
Fecha recepción en laboratorio: 2016/03/11	Hrs: 16:59
Fecha de análisis: 2016/03/15 AL 2016/03/17	Hrs: 16:10
Observaciones: ninguna	

**TABLA DE RESULTADOS**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	Método de Ensayo, referencia	Normas ó rango
Fósforo	mg/100g	57,09	CHARLOT, Francia (1966)	-----

Observaciones: Análisis realizados sobre muestra entregada en laboratorio por el solicitante

**ANÁLISIS FISICOQUIMICO:** El parámetro fue determinado realizando los análisis por duplicado como mínimo y la tabla de resultados ha sido elaborada con los valores ponderados.

El método empleado para la determinación parámetro fue:

**FOSFORO:** Método colorimétrico, basado en el complejo coloreado del fósforo y el fosfomolibdato de amonio a una longitud de onda máxima de 700 nm., en un equipo SP-8 ultravioleta spectrophotometer PYE-UNICAM, previa calcinación, tratamiento ácido de mineralización de la muestra y separación de interferentes, (Ref.: Método GASTON CHARLOT, "Análisis Cuantitativo de Minerales", Pag. 837 (1966) Paris).

Cochabamba, 28 de marzo de 2016

M.Sc. Lic. Raúl Domínguez Chura  
Responsable Laboratorio Servicios  
Centro de Alimentos y Productos Naturales

V°B°

M.Sc. Ing. Sergio Carballo Cadima  
Director  
Centro de Alimentos y Productos

Calle Sucre frente parque La Torre • Teléfono-Fax: 00591 4 4251877 • 00591 4 4549810 • Email: alimentos@fcyt.umss.edu.bo • Cochabamba

Figura 33. Análisis físico químico, contenido de fósforo variedad Loq'a.

**Anexo 12**

**a) Análisis de morfología de almidones SEM- IMAJ**

En la Tabla 25 observamos la distribución de frecuencias del tamaño de gránulos de almidón en la variedad Huaycha Puneña (HP), determinándose que los almidones presentan un tamaño mínimo de 6 µm y un máximo de 66 µm, asimismo un 27% presentan un tamaño entre 11,1429 a 25,71 µm

Tabla 14. Distribución de frecuencias para la variedad Huaycha Puneña

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa Acum.
	menor o igual	6,0		1	0,0056	1	0,0056
1	6,0	14,5714	10,2857	7	0,0393	8	0,0449
2	14,5714	23,1429	18,8571	42	0,2360	50	0,2809
3	23,1429	31,7143	27,4286	46	0,2584	96	0,5393
4	31,7143	40,2857	36,0	41	0,2303	137	0,7697
5	40,2857	48,8571	44,5714	26	0,1461	163	0,9157
6	48,8571	57,4286	53,1429	10	0,0562	173	0,9719
7	57,4286	66,0	61,7143	5	0,0281	178	1,0000
	mayor de	66,0		0	0,0000	178	1,0000

Media = 31,5281 Desviación Estándar = 11,732