

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

E.A.P INGENIERIA DE ALIMENTOS



CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN EN PAPAS

NATIVAS DEL GRUPO *Solanum phureja*

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE ALIMENTOS.

AUTOR: Marleny Cáceres Najarro

ASESORES: Dr. Alfredo Matos Chamorro
Mg. Indira Betalleluz - UNALM
Ing. Walter Amorós - CIP

Lima – Perú

2009

AUTOR: Marleny Cáceres Najarro.

TÍTULO: Caracterización de almidón en papas nativas del grupo *solanum phureja*.

PUBLICACIÓN: Lima, 2008

DESCRIPCIÓN: 120 h.: il., cuadros, tablas

NOTA: Tesis (ing. De alimentos)- - universidad peruana unión. Facultad de ingeniería y arquitectura. EAP. De ingeniería de alimentos, 2008.

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Alfredo Matos Chamorro - UpeU.

CO-ASESOR: Mg. Indira Betalleluz - UNALM.

Ing. Walter Amorós - CIP.

PALABRAS CLAVE: Almidón de papa / papa (Perú) / *solanum phureja* / amilosa / amilopectina / viscosidad en almidones.

NOTA DE LOCALIZACION:

- **UPeU.** Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- **UPeU.** Biblioteca Central.
- **CIP.** Biblioteca Central.

A Dios fuente de vida y sabiduría, a mis padres por su apoyo incondicional y esfuerzo para alcanzar mis metas.

A mis hermanos por darme, apoyo y comprensión en cada momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- Al Centro Internacional de la Papa (CIP) por el financiamiento de este trabajo de investigación.
- A mis asesores por sus orientaciones y sus consejos durante el desarrollo de la investigación, en las personas Mg. Indira Betalleluz y Dr. Alfredo Matos.
- A la Dra. Merideth Bonierbale (CIP) y al Ing. Walter Amorós (CIP) por darme la oportunidad de realizar esta investigación.
- A toda la familia de laboratorio de Procesamiento, Calidad, Virología y patología del CIP por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación.
- A los profesores de la Universidad Peruana Unión y la Universidad Agraria la Molina por sus consejos.
- A todos mis amigos por el apoyo y los consejos que recibí en los momentos difíciles.
- A cada una de las personas que hicieron parte de esta investigación por su colaboración y tiempo.

INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN	14
II. MARCO TEORICO	17
2.1 La Papa	17
2.1.1 Clasificación taxonómica de las papas cultivadas	17
2.1.2 Papas nativas del grupo <i>Solanum phureja</i>	18
2.1.3 Datos agronómicos	19
2.1.4 Composición química y valor nutricional de la papa	19
2.2 Productos procesados y mercado	21
2.3 Almidón	22
2.3.1 Antecedentes	24
2.3.2 Importancia del almidón	26
2.3.2.1 Usos del almidón en la industria de los alimentos.	26
2.3.2.2 Usos del almidón en otras Industrias	27
2.3.3 Composición y estructura del almidón	27
2.3.3.1. Amilosa	28
2.3.3.2 Amilopectina	30
3.3.3.3 Material intermediario	32
2.3.4 Estructura cristalina del almidón	32
2.3.5 Temperatura de gelatinización	34
2.3.6 Características fisicoquímicas	36
2.3.6.1 Distribución y morfología de los almidones	36
2.3.6.2 Contenido de amilosa y amilopectina	37
2.3.6.3 Hinchamiento y solubilidad	40
2.3.6.4 Viscosidad	43
III. MATERIALES Y METODOS	47
3.1 Lugar de Ejecución	47
3.2 Materia prima	47
3.3 Equipos, materiales y reactivos	53

	Pag.
3.3.1 Equipos	53
3.3.2 Materiales	53
3.3.3 Reactivos	54
3.4 Métodos de análisis	55
3.4.1 Análisis proximal de la materia prima	55
3.4.1.1 Humedad	55
3.4.1.2 Proteína	55
3.4.1.3 Grasa	55
3.4.1.4 Fibra	55
3.4.1.5 Carbohidratos	55
3.4.2 Extracción de almidón	55
3.4.3 Caracterización del almidón extraído	58
3.4.3.1 Características morfológicas	58
3.4.3.2 Contenido de amilosa	58
3.4.3.3 Hinchamiento y solubilidad	58
3.4.3.4 Viscosidad	59
3.5 Método experimental	59
3.6 Análisis estadístico	60
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	61
4.1 Análisis proximal de las papas	61
4.2 Extracción de los cultivares en estudio	64
4.3 Caracterización del almidón	68
4.3.1 Determinación de humedad, proteína y grasa en almidones	68
4.3.2 Características morfológicas	70
4.3.2.1 Distribución del tamaño de los gránulos	70
4.3.2.2 Morfología de los gránulos	73
4.3.3 Características fisicoquímicas	79
4.3.3.1 Contenido de amilosa	79
4.3.3.2 Hinchamiento y solubilidad de los gránulos de almidón	84

4.3.3.3	Determinación de la viscosidad	Pag. 91
V	CONCLUSIONES	97
VI	RECOMENDACIONES	99
	REFERENCIAS	100
	ANEXOS	109

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 - Variabilidad de papas nativas del grupo Phureja	20
Figura 2 - Célula de tubérculo de papa con gránulos de almidón	23
Figura 3 - Corte transversal del tubérculo de la papa	24
Figura 4 - Polarización del almidón de papa	28
Figura 5 - Estructura de la amilosa	29
Figura 6 - Estructura de la amilopectina	31
Figura 7 - Estructura de la cristalinidad del almidón	33
Figura 8 - Curva representativa del viscoamilografo de Bravender	41
Figura 9 - Fotografías de las papas en estudio	49
Figura 10 - Diagrama de flujo para la extracción de almidón	57
Figura 11 - Esquema caracterización del almidón de papa	59
Figura 12 - Microfotografía de gránulos de almidón de papa	65
Figura 13 - Rendimiento de almidones y contenido de materia seca de los cultivares en estudio	67
Figura 14 - Distribución de los gránulos con respecto al eje mayor	71
Figura 15 - Distribución de los gránulos con respecto al area del almidón en algunas muestras representativas	74
Figura 16 - Microfotografias mostrando la morfología de los gránulos de almidón	75
Figura 17 - Distribucion normal del contenido de amilosa	80
Figura 18 - Contenido de amilosa en los cultivares en estudio y muestras testigo	81
Figura 19 - Tipos de comportamiento de hinchamiento de los gránulos de almidón en estudio	88
Figura 20 - Tipos de comportamiento de solubilidad de los gránulos de almidón en estudio	89
Figura 21 - Variación de la viscosidad para las diferentes muestras en estudio	93
Figura 22 - Comportamiento reológico del almidón	95

INDICES DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 - Clasificación citológica y taxonómica de la papa	18
Tabla 2 - Composición química de tubérculos de papa	21
Tabla 3 - Parámetros de gelatinización en almidones de diferentes fuentes	34
Tabla 4 - Propiedades morfológicas de los almidones de diferentes cultivares de papa, mostrando proporción de tamaño granular	38
Tabla 5 - Características de algunos almidones comunes	39
Tabla 6 - Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 y 90°C	41
Tabla 7 - Lista de los cultivares del grupo <i>Solanum phureja</i> y variedades mejoradas provenientes de la localidad de la victoria	48
Tabla 8 - Análisis proximal de los cultivares en estudio (bs)	62
Tabla 9 - Contenido de la humedad, proteína y grasa en almidones en estudio	69
Tabla 10 - Análisis de variancia del contenido de amilosa	79
Tabla 11 - Determinación del contenido de amilosa (%) por 2 metodologías	82
Tabla 12 - Comparación de resultados del contenido de amilosa	83
Tabla 13 - Capacidad de hinchamiento de los gránulos del almidón	86
Tabla 14 - Porcentaje de solubilidad de los gránulos de almidón	87

INDICE DE ANEXOS

	Pag.
Anexo 1 - Determinación del contenido de amilosa	109
Anexo 2 - Determinación del poder de hinchamiento y solubilidad del almidón	112
Anexo 3 - Determinación del análisis proximal	113
Anexo 4 - Comparación de medias para contenido de amilosa	119
Anexo 5 - Comparación de medias para viscosidad	120

RESUMEN

El objetivo de la investigación es caracterizar el almidón en 24 cultivares nativos de papa del grupo *Solanum phureja*. La extracción del almidón se realizó con una licuadora industrial a velocidad de 3500 rpm, obteniéndose gránulos enteros, sin ningún daño en la estructura externa.

La morfología y distribución de los gránulos fue determinado por el programa Image Tool v. 3, donde se midieron el eje mayor y menor de 600 gránulos de almidón por cada cultivar. El tamaño de los gránulos vario en un rango de 6.18 a 102.84 μm con respecto al eje mayor. Los gránulos pequeños en su mayoría mostraron formas redondeadas, los gránulos medianos y grandes presentaron formas elipsoidales, cuboides a irregulares. Los cultivares phureja 704227, 705167 y 703570 mostraron mayor uniformidad tanto en tamaño y forma de almidones con 91.0; 73.3 y 70.7% de granulos medianos respectivamente.

La determinación de amilosa se realizó por el método colorimétrico (ISO 6647). Los almidones de los cultivares phureja 705227, 705162, 703294 mostraron los mayores contenidos de amilosa con 43.3, 42.2 y 41.9% respectivamente y los cultivares 706767, 705816, 705806 los mas bajos contenidos con 30.6, 30.1, 29.9 %.

El hinchamiento de los gránulos de almidón fue determinado entre las temperaturas de 60 a 90°C. Los cultivares 706767, 705816 y Canchan obtuvieron los valores más altos, manteniendo su estructura a los cambios de temperatura. La solubilidad de los almidones tambien fue muy variado encontrando comportamientos que indican una fuerte integracion granular.

La viscosidad de los geles de almidón se midieron a 25°C en un viscosímetro Brookfield RV (modelo DV-III) utilizando un huso cilíndrico SC4-27. Se confirma que las soluciones de almidón tienen un comportamiento pseudoplastico y los cultivares 704227, 705816 y 706767 con 47.8, 43.8 y 38.7 Pa.s mostraron los valores mas altos de viscosidad respectivamente.

ABSTRACT

The research was carried out with the objective of characterizing the starch of tubers of 24 native potato cultivars of the *Solanum phureja* group. A 3500 rpm speed Industrial blender was used to extract starch. Entire granules, without any damage in the external structure was obtained.

The program Image Tool v. 3, was used to determine the morphology and distribution of the granules, the major and minor axes of 600 granules per cultivar were measured a range of 6.18 to 102.84 μm compared to the major axis was found. The small granules showed rounded forms, medium and big ones showed elipsoidales, cuboid to irregular forms. The phureja cultivars 704227, 705167 and 703570 showed a high uniformity in size and morphology, with 91.0; 73.3 and 70.7 % of medium size starches, respectively.

The colorimetric method (ISO 6647) was used to determine the amylose content. The cultivars 705227, 705162, 703294 showed the highest amylose content with 43.3, 42.2 and 41.9 % respectively, the cultivars 706767, 705816, 705806 the lowest amylose content with 30.6, 30.1, 29.9 %.

The swelling of starch granules was determined in a range of temperatures between 60 to 90°C. The starch of cultivars 706767, 705816 and Canchan showed the highest swelling, and not change of their structure was observed. The starches solubility was very variable presenting behaviors that indicate a strong granular integration.

The viscosity of starch gels was measured up to 25°C using a viscosimeter Brookfield RV (model DV-III) with a cylindrical spindle SC4-27, the starch of cultivars 704227, 705816 and 706767 showed the highest values of viscosity with 47.8, 43.8 and 38.7 Pa.s respectively. These results confirm that starch gels show a pseudoplastic behavior.

I. INTRODUCCIÓN.

Los almidones, son polisacáridos de interés nutritivo e industrial, presentes en diferentes tipos de plantas como cereales, raíces, rizomas, tubérculos, semillas y tallos, que a su vez constituyen una fuente energética natural privilegiada para la alimentación de los seres vivos, principalmente del hombre. Actualmente, está comprobado que al menos el 55% de las calorías diarias que ingerimos provienen de los carbohidratos, destacando que gran parte de éste aporte calórico, debe corresponder a hidratos de carbono con bajo índice glicémico (Maria y Wenzel 2006).

Es por ello, que los alimentos ricos en almidones como fuentes de carbohidratos complejos adquieren una relevancia especial, porque contribuyen a cumplir las actuales metas nutricionales y otras recomendaciones más específicas, como aumentar el consumo de fibra dietética y disminuir los azúcares simples. La producción de almidones es una de las actividades agroindustriales más importantes en el ámbito mundial, su aplicación no sólo se extiende a la industria de alimentos, sino también a otras industrias, distintas a las tradicionales como textil, papel, farmacéutica, petróleo y biodegradables (Maria y Wenzel 2006).

Las propiedades fisicoquímicas y los usos finales de los almidones de diversas fuentes están íntimamente asociados con la estructura, tamaño y distribución de los gránulos, la distribución de las moléculas de glucosa, temperatura de gelatinización, consistencia del gel, contenido de amilosa y amilopectina y propiedades reológicas (Kaur y otros 2002; Mishra y Rai 2006; Zaidul y otros 2007b; Noda y otros 2005; Kaur y otros 2007b). Estas características, contribuyen ampliamente en la toma de decisión para una próxima aplicación en las diferentes industrias, por ejemplo, en la industria de alimentos los almidones proveen una excelente textura y mayor viscosidad en los alimentos preparados, como sopas, salsas, tortas, etc y como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas, etc. También tienen mucha aplicación como agente espesante, agente gelificante, agente coloidal, agente de retención de agua y adhesivos (Kaur y otros 2007b). A su vez el almidón es un

sustituto 100% biodegradable del poliestireno y se utiliza, en la elaboración de platos y cubiertos desechables. Por su capacidad de ser convertido en un termoplástico, su disponibilidad y biodegradabilidad también la hacen materia prima para numerosos productos como la dextrosa, alcohol, sorbitol, glucósidos y ácido láctico (Espín y otros 2004, Vera 2003). Los almidones con un alto contenido de amilosa son de importancia para la industria de fibras y plásticos y los de baja amilosa en el campo de los alimentos (Martinod y Pacheco 1974; Singh y otros 2005).

En el mundo, se encuentran diversas materias primas para la extracción del almidón, entre ellas, los cereales, raíces y tubérculos. La papa es una de las materias primas más utilizadas en la producción mundial del almidón. El Perú, tiene la mayor biodiversidad de papas en el mundo, existen más de 2300 de las más de 4000 variedades que hay en Latinoamérica, las que pertenecen a 8 especies cultivadas. Sin embargo la proporción de la producción de papa dedicada a la agroindustria en el Perú no supera el 3% del total, la misma que está destinada principalmente al rubro de hojuelas y prefritas congeladas. Actualmente no existe procesamiento destinado a la producción de almidón (MINAG 2008), en consecuencia la importación del almidón cubre en su totalidad la necesidad del mercado nacional. Las importaciones de almidón de papa en el año 2002 fueron de 9,426 TM y para el año 2006 se incrementa a 14,144 TM, siendo Alemania y los Países Bajos los que exportaron en mayor cantidad al Perú (COMTRADE 2008), es necesario mencionar que actualmente no se cuenta con variedades de papas adecuadas para el procesamiento de almidón, las cuales deberían poseer algunas propiedades especiales, como alto rendimiento, contenidos de amilosa y amilopectina, y contenidos de fósforo adecuado para las diferentes necesidades industriales (MINAG 2008).

El Perú cuenta con una gran diversidad de papas cultivadas nativas agrupadas en 8 grupos taxonómicos de *Solanum* en donde la *Solanum phureja* forma parte de este gran grupo, y que a su vez cuenta con cerca de 200 cultivares, las cuales han sido utilizadas en múltiples investigaciones y como fuente importante en programas de mejoramiento genético a la resistencia de enfermedades, así como por su alta calidad nutricional y culinaria (Maine y otros 1992).

Esta investigación tiene como objetivo principal, Caracterizar el almidón en papas nativas del grupo *Solanum phureja*, mediante la determinación de la morfología y distribución de los gránulos, contenido de amilosa, el porcentaje de hinchamiento y solubilidad de los gránulos de almidón y determinación de viscosidad.

II. MARCO TEORICO.

2.1. La papa.

La papa es un cultivo que se produce desde el nivel del mar hasta los 4,200 msnm. A pesar de ser originario de climas fríos, actualmente se cultiva en todo el mundo en distintas zonas, debido al desarrollo de variedades con condiciones especiales de adaptación a diferentes climas y diferentes temperaturas (Estrada 2000).

En el Banco de Germoplasma del Centro Internacional de la papa (CIP) se custodian cerca de 4000 variedades de papa, que son provenientes de nueve países de América Latina, de éstas, aproximadamente 2,500 son originarios del Perú. Las papas cultivadas pueden ser agrupadas en dos tipos de variedades, nativas y modernas, estas últimas son conocidas como mejoradas o blancas, que han sido generadas en los últimos años por mejoramiento genético y nativas llamadas también primitivas o indígenas son aquellas que han sido generadas por nuestros ancestros hace cientos de años y son cultivadas por las comunidades campesinas de la zona alto andina a partir de los 3,000 msnm.

2.1.1. Clasificación taxonómica de las papas cultivadas.

Estrada (2000) y Ochoa (2000) mencionan que las papas en general se clasifican en la siguiente jerarquía:

Familia botánica: Solanáceas

Genero: *Solanum* Linnaeus.

Subgénero: Potatoe (G.Don) Arcy

Sección: Petota Dumortier.

Subsección: potatoe G. Don.

Superserie: Rotata hawkes (corola rotacea).

Serie: Tuberosa_Rybd., Hawkes (Cultivadas).

Otros autores, como Hawkes (1990) clasifica taxonómicamente las papas en 7 especies, Ochoa (1999) en 9 especies y Huamán y Spooner (2002) en una sola

especie (Tabla 1). Citológicamente tienen cuatro grupos: diploide ($2n=24$) donde están Ajanhuiri, Stenotomum, y Phureja; triploide ($2n=36$) con Chaucha y Juzepczukii; tetraploide ($2n=48$) con Andigenum y Chilotanum; pentaploide ($2n=60$) con Curtilobum.

Tabla 1 - Clasificación citológica y taxonómica de la papa.

Ploidia	Según Hawkes	Según Ochoa	Según Huamán y Spooner
			<i>Solanum tuberosum</i>
2x	<i>S. ajanhuiri</i>	<i>S. x ajanhuiri</i>	Grupo Ajanhuiri
	<i>S. stenotomum</i>	<i>S. goniocalyx</i>	Grupo Stenotomum
	<i>S. phureja</i>	<i>S. stenotomum</i>	Grupo Phureja
		<i>S. phureja</i>	-----
3x	<i>S. chaucha</i>	<i>S. x chaucha</i>	Grupo Chaucha
	<i>S. juzepczukii</i>	<i>S. x juzepczukii</i>	Grupo Juzepczukii
4x	<i>S. tuberosum</i>	<i>S. tuberosum</i>	Grupo Andigenum
	<i>Subsp. andigenum</i>	<i>Subsp. andigenum</i>	Grupo Chilotanum
	<i>Subsp. tuberosum</i>	<i>Subsp. tuberosum</i>	-----
		<i>S. hygrothermicum</i>	-----
5x	<i>S. curtilobum</i>	<i>S. curtilobum</i>	Grupo Curtilobum

Fuente: Hawkes (1990), Ochoa (1999), Huamán y Spooner (2002)

nx- Nivel de ploidia

2.1.2. Las papas nativas del grupo *Solanum phureja*.

Las papas nativas del grupo *Solanum phureja* es una especie diploide y ampliamente utilizado en las investigaciones y programas de mejoramiento genético. Es una fuente valiosa por sus características de resistencia a la podredumbre bacteriana o marchitez, (Ciampi y Siqueira, citados por Ochoa 2002). Se conoce también por su gran resistencia al tizón tardío causada por el hongo *Phytophthora infestans* (Glas y otros 2001).

Las especies silvestres diploide *Solanum limbanense* del sureste del Perú y la *Solanum neovavilovii* del noroeste de Bolivia, han jugado un papel muy importante

en el origen y evolución de *Solanum phureja*. Las citadas especies habitan en regiones húmedas del lado oriental de los andes, preferentemente entre los bosques arbustivos a 2600-3400 msnm, donde además parecen concentrarse la más alta diversidad genética de *Solanum phureja*. La morfología y hábitos de las plantas, así como la falta del periodo de reposo de los tubérculos de *Solanum limbanense* tienen particular semejanza con algunas formas de la *Solanum phureja*, siendo una especie precoz, las que pueden ser cosechadas de 3 a 4 veces al año (Ochoa 2002).

2.1.3. Datos agronómicos.

Las plantas de papa del grupo *Solanum phureja* miden de 30-60 cm de alto, tallo simple o ramificado, de 6-8 mm de diámetro. Hacia la base, erguido, subdecumbente o decumbente y sin alas o angostamente alado, verde claro, subpigmentado, o fuertemente pigmentado de morado. Los tubérculos presentan diversas formas y colores (redondos, gruesamente oblongos, ovalados, alargados cilíndricos o subcilíndricos; blancos, amarillentos o variados con tonos rojos violáceos o blancos amarillentos, carne blanca o blanca amarillenta) (Ochoa 2002). La figura 1 muestra las diversas formas que adoptan las papas nativas.

2.1.4. Composición química y valor nutricional la papa.

En un estudio realizado sobre 200 cultivares de papas nativas, se determinó, que el porcentaje de materia esta en un rango de 24 - 30%, mientras que, las variedades mejoradas presentan de 18 a 22%. La ventaja de poseer un mayor porcentaje de materia seca, hace que los productos procesados, sobre todo, los fritos absorban menos aceite, aumentando su rendimiento y dándole una mejor textura al producto terminado (Bonierbale y Amoros 2001).

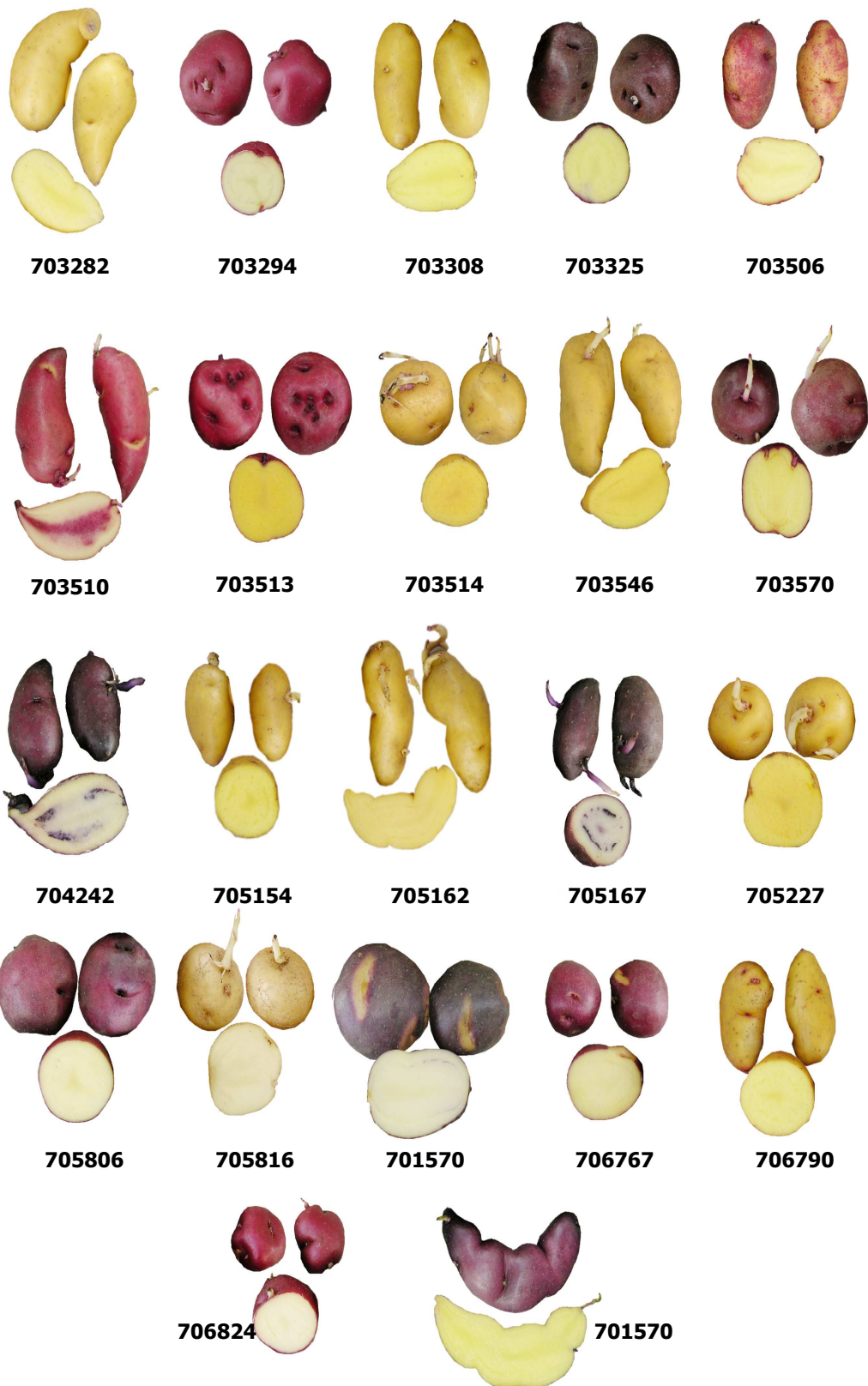


Figura 1 - Variabilidad de papas nativas del grupo phureja.

Las papas nativas en general muestran gran variabilidad, presentando diferentes colores de piel y pulpa en los tubérculos, existen variedades con pulpa blanca, amarilla, roja, morada y en muchos casos se dan combinaciones vistosas y únicas. Las variedades de pulpa amarilla tienen un elevado contenido de carotenoides (zeaxantina, luteína, etc), las que poseen pulpa roja o púrpura contienen antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos, relacionadas con efectos anticancerígenos (CIP 2003).

La tabla 2, muestra la composición química de las papas mejoradas, Linsiska y Leszczynski (1989) mencionan que aun siendo de la misma variedad y de la misma planta las papas pueden variar particularmente en sus componentes.

Tabla 2 - Composición química de tubérculos de Papa

Componente	Contenido %	
	Rango	Promedio
Materia seca	13.1 - 36.8	23.7
Almidón	8.0 - 29.4	17.5
Azúcares reductores	0.0 - 5.0	0.3
Azúcares totales	0.5-8.0	0.5
Fibra cruda	0.17 -3.48	0.71
Sustancias pépticas	0.2 - 1.5	-
Nitrógeno total	0.11- 0.74	0.32
Proteína Cruda (f - 6.25)	0.69 -4.63	2
Nitratos	0.0 -0.05	-
Lípidos	0.02 - 0.2	0.12
Ceniza	0.44- 1.87	1.1
Ácido orgánicos	0.4 - 1.0	0.6

Fuente: Linsiska y Leszczynski (1989)

2.2. Productos procesados en el mercado.

Según la publicación de industrialización de la papa (2008), en el Perú las formas más comunes de procesamiento de las papas son las siguientes:

- Papa seca
- Chuño.

- Almidón
- Puré Instantáneo.
- Papas cortadas en tiras para freír.
- Papas fritas en hojuelas.
- Papas en tira pre-fritas congeladas.

Las papas nativas representan una oportunidad interesante de industrialización ya que alcanzan hasta un 30% de materia seca y el 20-25% es almidón. El país importa entre 10.000 y 15.000 toneladas de almidón al año, para elaborar productos alimenticios, textiles, embutidos, etc. (Anderson 2005).

“Si bien, es difícil competir con almidones producidos en países extranjeros por ser un producto de segunda línea, es decir producido con material que se deshecha en el proceso de producción de papas precocidas y congeladas, es importante realizar estudios para evaluar la posibilidad de reducir o eliminar su importación mediante la producción nacional teniendo en cuenta los volúmenes (7,000 TM) y las divisas que se gastan (alrededor 4'000,000 de dólares americanos/año) son importantes. Para sustituir la importación de almidón se requeriría utilizar 50,000 toneladas/año de papa fresca, a razón de que la tasa de conversión es de 7 a 1” (MINAG 2008).

2.3. Almidón.

El almidón, es uno de los carbohidratos más abundante presente en los alimentos, pueden ser aislados de raíces, tubérculos, cereales, almendras, semillas y frutas, presentan un tamaño desde 0.5 a 100 μ , dependiendo del origen (Van 1996). Se encuentran en los tejidos vegetales, bajo la forma de gránulos intracelulares con aspecto y estructura característicos según el origen botánico (Figura 2). Estos gránulos, esfero cristalinos, visibles al microscopio electrónico, dan con rayos X redes de difracción (Cheftel 1976).

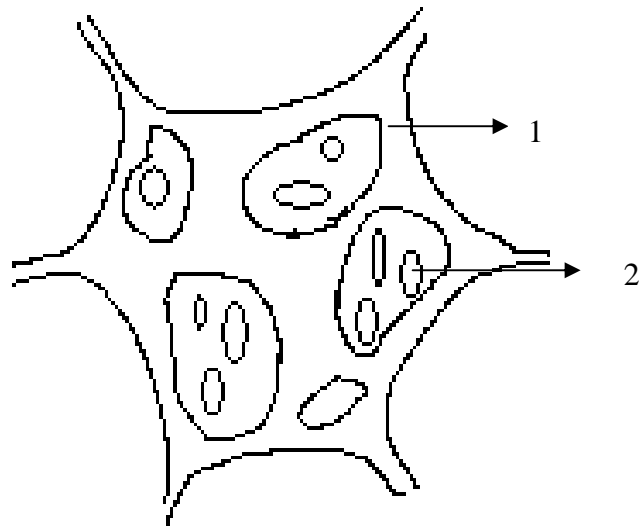


Figura 2 - Célula de tubérculos de papa con gránulo de almidón. 1 - pared celular, 2 gránulos de almidón (Lisinska y Leszczynski 1989).

Durante el crecimiento de la papa, el contenido de almidón se incrementa, siendo más intenso en la fase inicial del crecimiento del tubérculo, logrando una mayor acumulación durante el tiempo de maduración, esto depende de cada variedad. La distribución del almidón, en los tubérculos de papa no es uniforme (Figura 3), en mayor cantidad se encuentran en las células cercanas al sistema vascular, una menor cantidad en la corteza y el más bajo desarrollo en la médula radical. El almidón, en tubérculos de papa es el reservorio que permite la emergencia de nuevas plantas, las cuales usan la mayor cantidad de almidón en la fase inicial de su crecimiento (Lisinska y Leszczynski 1989).

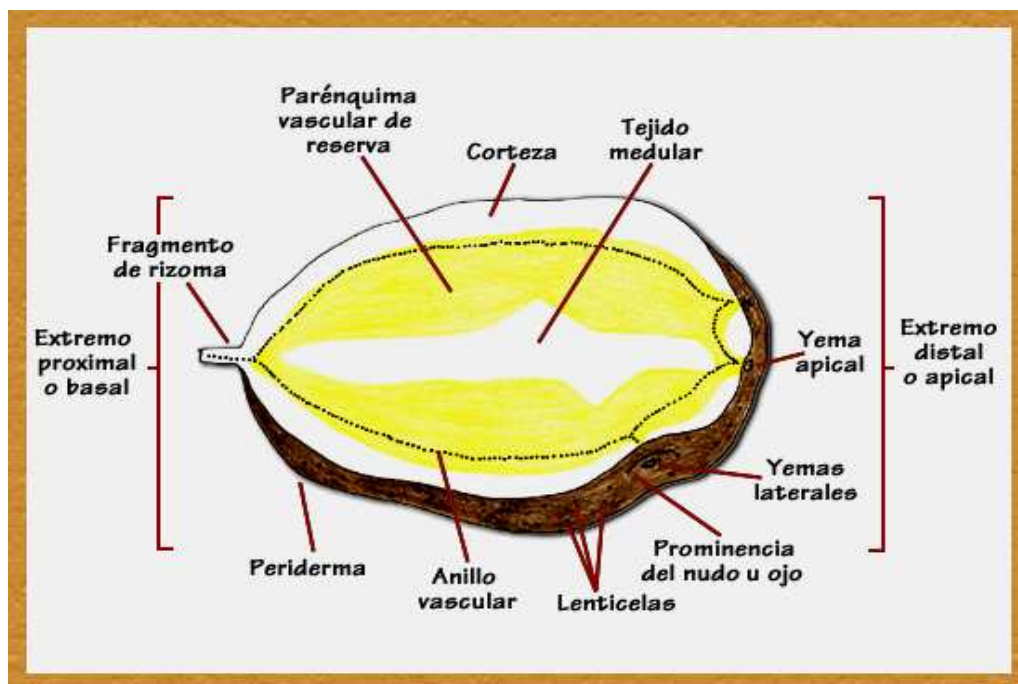


Figura 3 - Corte transversal del tubérculo de papa (Huamán 1986).

2.3.1. Antecedentes.

La popularidad de los almidones aumentó en Europa al rededor de siglo XIV, debido a su uso para el endurecimiento de lino y subsecuentemente fue adoptado para propósitos cosméticos. En los últimos años los almidones de papa han sido estudiados extensamente, tal es así que las propiedades del almidón dependen de las características fisicoquímicas como la medida del tamaño del gránulo, distribución del gránulo, contenido de amilosa y amilopectina, el contenido de minerales, y sus propiedades reológicas (Kaur y otros 2003).

Rao y otros (1997) en un estudio de comportamiento reológico de la dispersión de almidones calentados en exceso de agua, indican el rol de los gránulos de almidón. El tamaño y distribución de los gránulos de almidón, medidas por la difracción láser, afectaron el comportamiento de flujo a 20°C de la dispersión del almidón de maíz y caupí (*Vigna unguiculata L.*) a 2.6 % p/v (calentadas por varios intervalos de tiempo por encima de la temperatura de gelatinización). El hinchamiento de los gránulos aumentó a un máximo de alrededor de 3-5 veces el gránulo de almidón crudo y el 65% fracción de masa del gránulo. El índice de consistencia de la dispersión

incremento a medida que aumenta el diámetro de los gránulos en el proceso de hinchamiento.

Mishra y Rai (2006) realizaron un estudio de las propiedades funcionales y morfológicas de los almidones de maíz, papa y tapioca. El estudio morfológico fue realizado por un microscopio electrónico de barrido las cuales revelaron que los almidones tienen características únicas para cada fuente. También mostraron que los gránulos son insolubles a 20°C, sin embargo a los 70°C mostraron una solubilidad en agua de 3.9, 13.5 y 14.4% para los almidones de maíz, papa y tapioca respectivamente. Donde los almidones de papa mostraron mayor viscosidad a una concentración de 0.1% (p/v) en relación con los almidones de maíz y tapioca.

Noda y otros (2007) investigaron el contenido de fósforo en almidones de papa (*Solanum tuberosum* L.) y su efecto en las propiedades funcionales. Para las cuales utilizaron las técnicas de fluorescencia (dispersión de energía rayos-X) encontrando que el contenido de fósforo en todos los almidones varió de 308 a 1244 ppm. Además, la estimación de las características de las muestras representativas se diferencian manifestando un contenido de fósforo, el cual indica, el aumento del almidón fosfatado, resultando en un incremento significativo en el poder de hinchamiento, pico de viscosidad, y estabilidad del gel. Otros parámetros, como el contenido de amilosa, gránulo de tamaño mediano, y la entalpía de gelatinización no cambian significativamente debido al grado de fosfatación o sustitución de almidón.

Jiménez y otros (2007) también determinaron las características físicas y microscópicas del almidón de tubérculos de Chayote (*Sechium edule*) en comparación con el almidón de papa y maíz. Los contenidos de fósforo fueron mas altos en el almidón de chayote con 0.15% y en papa fue de 0.08% y un contenido menor para el almidón de maíz 0.01%. La dispersión de los almidones de Chayote, papa y maíz presentaron un comportamiento pseudoplástico. La dispersión del almidón de Chayote mostró una viscosidad mayor que las dispersiones de los almidones de papa y maíz, el cual fue atribuido a un alto contenido de fósforo y amilopectina en los almidones de Chayote. La forma y el tamaño de los gránulos del almidón de chayote fueron comparados con los gránulos del almidón de maíz. Los

autores sugieren que el almidón de Chayote podría ser usado como un agente encapsulante por muchas sustancias de interés comercial.

2.3.2. Importancia del almidón.

El almidón es uno de los polímeros más importantes dentro de la industria y el procesamiento de diversos alimentos, por ello tiene diferentes usos como en la industria de alimentos y otros.

2.3.2.1. Usos del almidón en la industria de los alimentos:

- a) **Fuente de energía:** Una libra de almidón contiene más de 1000 calorías, el cual es equivalente aproximadamente al 50% de la energía diaria que requiere una persona.
- b) **Espesante:** Da cuerpo y textura al alimento preparado.
- c) **Agente coloidal:** El almidón de papa produce geles firmes y resistentes, cualidad indispensable en la preparación de ciertos productos como por ejemplo caramelos de goma. Las propiedades y protección coloidal del almidón imparten textura, sabor y apariencia a los alimentos preparados.
- d) **Aglutinante:** Para el ligamento de componentes, como en la preparación de salchichas y embutidos, mejora la consistencia de las pastas y mantiene los ingredientes unidos.
- e) **Modificador:** Mejora la textura de las galletas. Regula las harinas preparadas, ajustando la fuerza de gluten.
- f) **Emulsificante:** Favorece la formación de una emulsión estable en la preparación de la mayonesa y sales similares.

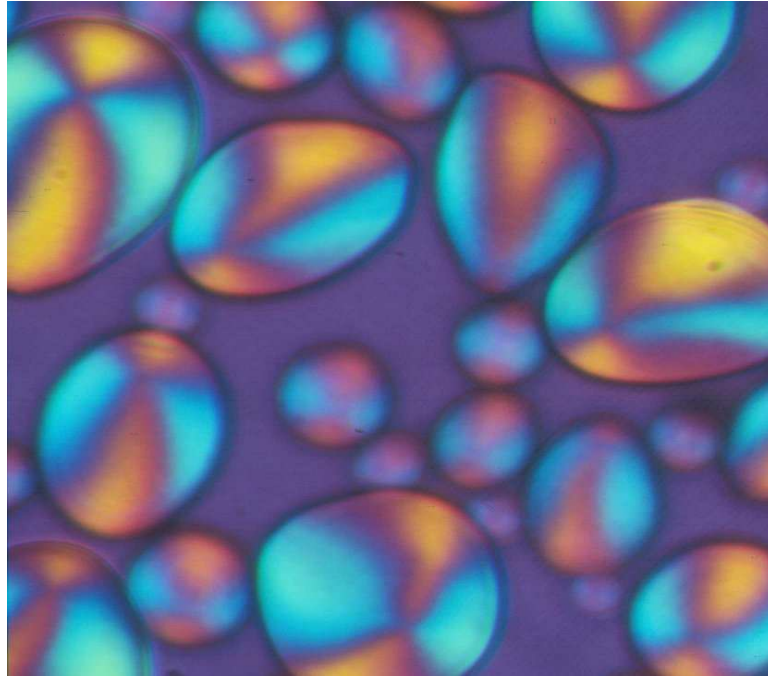
2.3.2.2. Usos en otras Industrias:

- a) **Adhesivo:** En el encolado de textiles y fabricación de papel.
- b) **Agente Inerte:** Sirve como excipiente, vehículo, y el cemento adhesivo de tabletas y productos medicinales, también ayuda a la desintegración de ciertas drogas en el agua.
- c) **Espolvorante:** Como polvo fino en la preparación de cosméticos, germicidas, talco y producto medicinales.
- d) **Absorbente:** En la preparación de jabones y detergentes para aumentar su capacidad de limpieza.
- f) **Aglutinante:** Para formar moldes de arena en trabajos de fundición y como ligamentos para formar aglomerantes de polvos finos.
- g) **Espesante:** Para mejorar la viscosidad y características de lodo en perforación de petróleo, aumentando la retención de agua.
- h) **Materiales biodegradables:** Es utilizado como materia prima para la elaboración de películas biodegradables.

2.3.3. Composición y estructura del almidón.

El almidón esta constituido de 98 a 99% de amilosa y amilopectina, el 1 – 2% de un material intermediario, como los lípidos, proteínas, minerales, etc. Dependiendo del origen botánico. Por ejemplo los almidones de cereales tienen menos del 1% de lípidos el cual hace que tenga un comportamiento típico. Los almidones de tubérculos casi no tienen lípidos y presentan una proporción de proteína menos del 0.5%, que no influye en las propiedades funcionales de los almidones (Hurtado 1997).

La figura 4, muestra la disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón, en un gránulo resulta evidente observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro), cuando se colocan los polarizadores a 90° entre sí. El centro de la cruz corresponde al hilum, el cual pertenece al centro de crecimiento del gránulo (Fennema 2000).



**Figura 4 - Polarización de almidón de papa
(International Starch Institute 2007)**

2.3.3.1 Amilosa.

La amilosa es un polímero esencialmente de cadena lineal de unidades de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces (1 \rightarrow 4), aunque existen también moléculas que poseen unas pocas ramificaciones en posición (1 \rightarrow 6), alrededor de cada 180-320 unidades. Las ramificaciones de la amilosa pueden ser más largas o muy cortas, pero los puntos de ramificación están separados por largas distancias, de manera que las propiedades físicas de las moléculas de amilosa son esencialmente la de las moléculas lineales (Fennema 2000).

En la figura 5 se muestra el acoplamiento de la posición axial-ecuatorial de las unidades α -D-glucopiranosilo con enlaces (1 \rightarrow 4) en las cadenas largas de glucosa, las cuales dan origen a la molécula de amilosa que pueden tomar la forma helicoidal, donde cada hélice o espiral dextrogiro está formada por seis unidades de glucosas. El interior de la hélice contiene solo átomos de hidrógeno, y es por lo tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice (Fennema 2000; Sandoval y otros 2005; Singh y otros 2003).

Singh y otros (2003) mencionan que el contenido de la amilosa en los gránulos del almidón varía con la fuente botánica de los almidones, las cuales son afectadas por las condiciones climáticas y tipos de suelo durante el crecimiento de los tubérculos. Así como varía el empaquetamiento de la amilosa y la amilopectina con los gránulos entre las diferentes especies (Hoover 2001). Las dimensiones de las moléculas de amilosa y su peso molecular se incrementan con el tiempo de crecimiento (Lisinska y Leszczynski 1989).

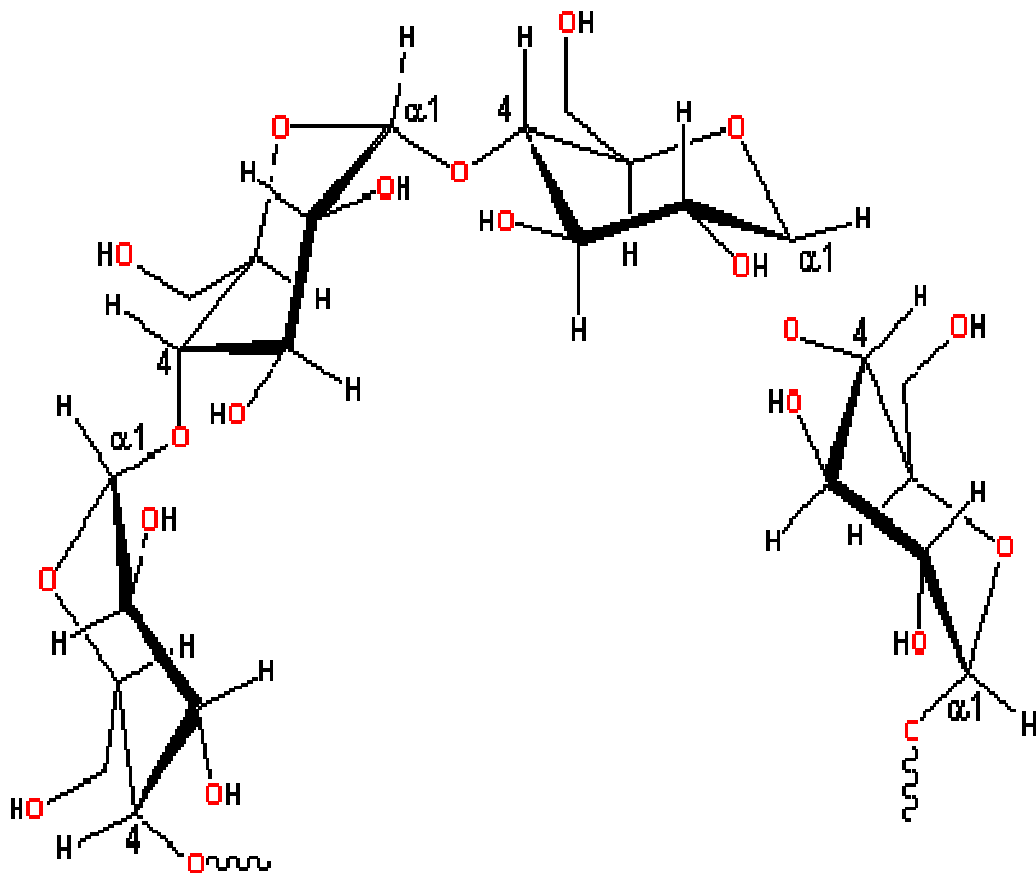


Figura 5 - Estructura de la amilosa.
(Chaplin 2007)

2.3.2.2. Amilopectina.

La amilopectina es una molécula predominante en el almidón, es un polímero ramificado de mayor tamaño que la amilosa, compuesta por segmentos unidos por enlaces α -1-4 glucosa conectada por ramificaciones de enlaces α -1-6 (Ver figura 6) (Rooney y Huang 2001).

La amilopectina esta presente en todos los tipos de almidones, constituyendo alrededor del 75% en los más comunes. Algunos están formados exclusivamente por amilopectina, y se les conoce como almidones céreos. El maíz céreo, es el primer grano reconocido como tal, porque cuando se corta el grano muestra una superficie de aspecto vítreo o céreo característico por su contenido del 99% de amilopectina.

En el almidón de papa, la amilopectina es la única que posee en su molécula grupos ester-fosfato, unidos frecuentemente entre 60-70%, en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3, estos grupos fosfato se presentan cada 215-560 unidades de α -D-glucopiranosilo, y alrededor del 88% están en cadenas-B (Lisinska y Leszczynski 1989; Fennema 2000; Singh y otros 2007; Noda y otros 2007; Singh y otros 2008).

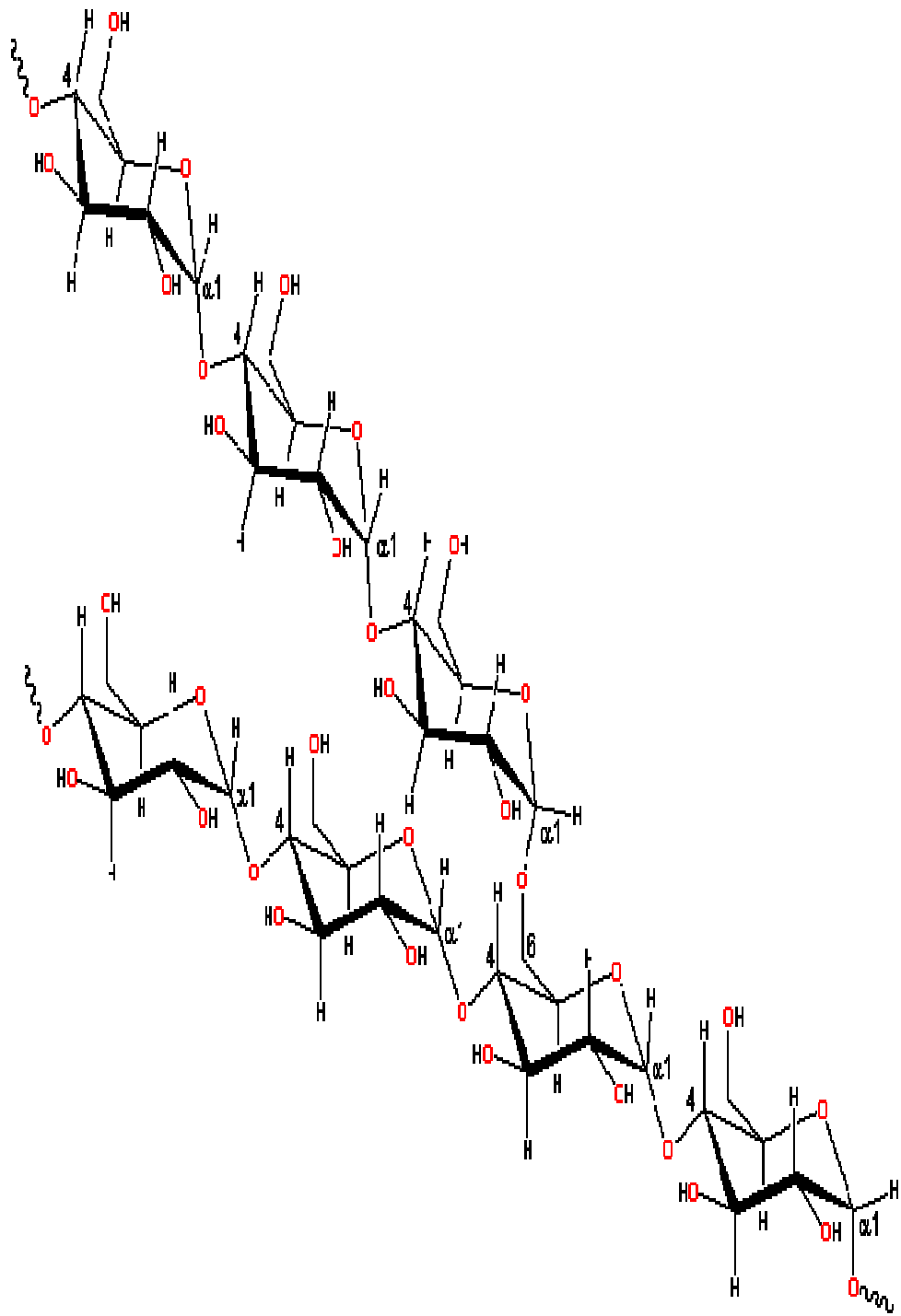


Figura 6 - Estructura de la amilopectina (Chaplin 2007).

2.3.3.3. Material intermediario.

El almidón posee un componente intermediario, trazas de constituyentes tales como grasa, proteína, ceniza, fósforo y pentosanas. Los constituyentes de los lípidos en los almidones varían de 0.32 a 1.22% y el alto contenido de lípidos en los almidones es indeseable desde que podría ser responsable del sabor, alta turbidez, alta temperatura de la pasta y baja viscosidad. El alto contenido de proteínas puede también tener efectos negativos, porque influyen a tener un sabor harinoso y tendencias de formación de espuma (Mishra y Rai 2006).

2.3.4. Estructura cristalina del almidón.

La amilopectina es la responsable de la estructura del gránulo de almidón, en la figura 7 se muestra las áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfas en la fase gel), arregladas en las capas concéntricas, las capas cristalinas están conformadas por doble hélices de las ramificaciones de la amilopectina, mientras que los puntos de ramificación están en las zonas amorfas (Chaplin 2007). La cristalinidad está exclusivamente relacionado con la amilopectina, mientras las regiones amorfas son representadas principalmente por la amilosa (Singh y otros 2003).

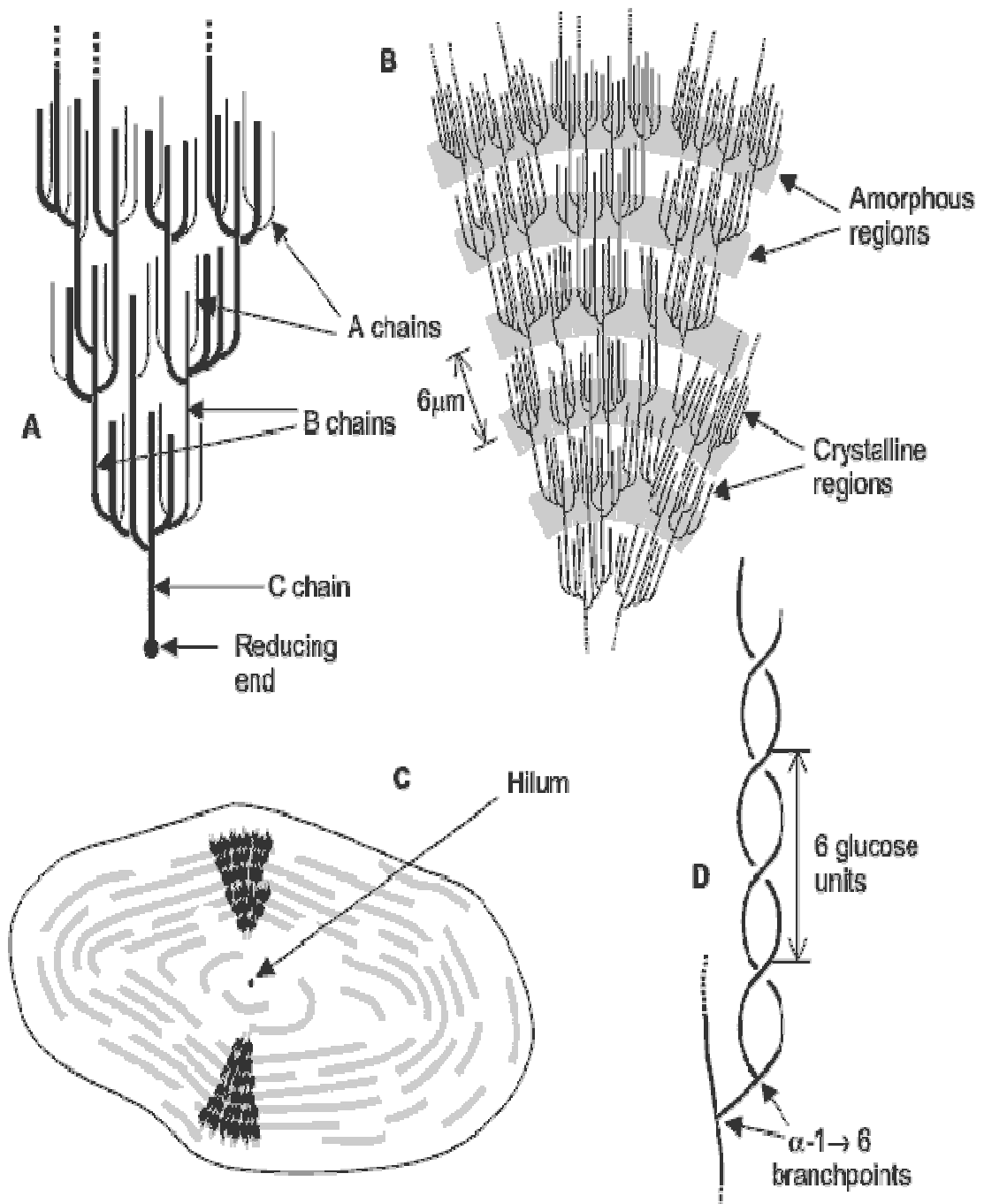


Figura 7 - Estructura de la cristalinidad del almidón. A - características esenciales de la amilopectina. B - organización de las regiones amorfas y cristalinas de la estructura, generando capas concéntricas que contribuyen al crecimiento de los anillos las cuales son visibles al microscopio de luz. C - Muestra la orientación de las moléculas amilopecticas en una sección transversal de un gránulo entero de almidón. D - estructura de la doble hélice, probablemente toma las cadenas laterales y da un aumento extensivo en grado de la cristalinidad en el gránulo (Chaplin 2007).

2.3.5. Temperatura de gelatinización.

La temperatura de gelatinización es el punto en el cual los gránulos de almidón pierden su cruz de polarización; sin embargo, no todos los gránulos lo hacen de forma simultánea. La temperatura de gelatinización depende de varios factores tales como: tamaño del gránulo (los más grandes tienden a hincharse y absorben agua antes que los pequeños) origen de almidón, contenido de amilosa y amilopectina, pH, cantidad de agua y contenido de sales (Ver tabla 3) (Konischi y otros 2006).

Tabla 3- parámetros de gelatinización de almidón de diferentes fuentes.

Fuete	Metodologia	To°C	Tp°C	Tc°C	ΔH_{gel} (J/g)
Papa	DSC:S:W 1:2:3	59,72 - 66,22	62,9 - 69,6	67,28 - 75,4	12,55 - 17,9
Papa	DSC:S:W 1:3:3	57,0 - 68,3	60,6 - 72,4	66,5 - 78,0	13,0 - 15,8
Papa	DSC:S:W 1:1:5	57,2	61,4	80,3	17,4
Maíz	DSC:S:W 1:1:5	62,3	67,7	84,3	14,0
Maíz	DSC:S:W 1:3	64,1	69,4	74,9	12,3
Maíz	DSC:S:W 1:9	65,7	71,0	-	12,0
Maíz ceroso	DSC:S:W 1:9	66,6	73,6	-	14,2
Maíz ceroso	DSC:S:W 1:3	64,2	69,2	74,6	15,4
Maíz/alta/amilosa	DSC:S:W 1:9	66,8	73,3	-	13,7
Arroz	DSC:S:W 1:1:5	62,0	67,4	97,5	11,0
Arroz	DSC:S:W 1:9	57,7	65,1	-	11,5
Arroz	DSC:S:W 1:3	70,3	76,2	80,2	13,2
Trigo	DSC:S:W 1:1:5	51,2	56,0	76,0	9,0
Trigo	DSC:S:W 1:2:3	46,0 - 52,4	52,2 - 57,6	57,8 - 66,1	14,8 - 17,9
Trigo	DSC:S:W 1:3	57,1	61,6	66,2	10,7

Fuente: Singh y otros (2003). Los valores de entalpía son expresados en J/g (bs). T_o: temperatura de inicio, T_p: temperatura pico, T_c: temperatura final, ΔH_{gel} : entalpía de gelatinización (bs).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua a temperatura del ambiente y volver luego al tamaño original al secarse. Sin embargo cuando se calientan en agua, los gránulos de almidón sufren el proceso denominado “gelatinización”, que es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos.

La pérdida de la cristalinidad en los almidones manifiesta la irreversibilidad del cambio en las propiedades, como el hinchamiento de los gránulos, formación de la pasta, la pérdida de la birrefringencia, pérdida del orden de la cristalinidad y la disociación de la doble hélice, y la solubilidad del almidón (Hooever 2001). La pérdida de la transición ocurre en el calentamiento de la solución acuosa de los almidones, las cuales son investigados usando el DSC (Differential Scanning Calorimetry) (Singh y otros 2003). La transición de la temperatura y la entalpía de gelatinización por DSC pueden ser relacionadas a las características de los gránulos de almidón, como al grado de cristalinidad (Krueger y otros 1987). Esto es influenciado por la composición química de los almidones el cual ayuda en la determinación de las características físicas y térmicas.

Kim y otros (1995) estudiaron las propiedades térmicas de los almidones de 42 cultivares de papa y correlacionan estas propiedades con las características fisicoquímicas. La gelatinización se inicia en el hilio de los gránulos y se hincha rápidamente a la periferia, esto ocurre inicialmente en la región amorfa, opuesto a la región cristalina de los gránulos siendo el enlace hidrogeno debilitado en esta área.

La diferencia en la transición de temperatura entre los diferentes almidones pueden ser atribuidos a la diferencia en el grado de cristalinidad. Una alta temperatura de transición reporta un alto grado de cristalinidad, el cual provee la estabilidad a la estructura y da mayor resistencia a los gránulos a la temperatura de gelatinización (Singh y otros 2003).

Los diversos estados de gelatinización pueden ser determinados utilizando un microscopio de polarización. Estos estados son: la temperatura de iniciación (primera observación de la pérdida de birrefringencia), la temperatura media, la temperatura final de la pérdida de birrefringencia (TFPB: es la temperatura a la cual el último gránulo en el campo de observación pierde su birrefringencia), y el intervalo de temperatura de gelatinización.

Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos (Singh y otros 2003).

2.3.6. Características fisicoquímicas.

2.3.6.1 Distribución y morfología de los almidones.

El tamaño y la forma de los gránulos de almidón son muy diversos y específicas para cada especie. Aunque muchas de ellas no tengan tamaños uniformes siempre es notoria la variabilidad, como en el almidón del maíz, trigo, centeno, papa, cebada y otros. También se han encontrado diferencias en el tamaño de los gránulos de cultivares pertenecientes a una misma especie. Por ejemplo, el promedio del diámetro del gránulo de almidón de 12 cultivares de sorgo está en un rango de 8.2 a 17.5 μm y entre 3.8 - 5.7 μm en 10 cultivares de arroz (Whistler y otros 1984). En el caso del almidón de papa el tamaño se encuentra en un rango de 5-100 μ (Van 1996).

El tamaño de gránulos también puede ser un indicativo de la presencia de algunos compuestos catiónicos como el fósforo que se encuentran en mayor cantidad en los gránulos pequeños del almidón de papa (Chen y otros 2003). Noda y otros (2005) reportan que los gránulos pequeños y medianos tienen un alto contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio a diferencia de los gránulos grandes que tienen un contenido menor de estos elementos.

Los grupos fosfato dan a la amilopectina una carga ligeramente negativa, las cuales contribuyen al rápido hinchamiento de los gránulos de almidón en agua caliente, así como algunas propiedades de las pastas de almidón, entre ellas su alta viscosidad, buena claridad y bajo grado de retrogradación.

Las diferencias de tamaño y distribución de los gránulos de almidón pueden ser importantes en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos, ya que

el tamaño de los gránulos más pequeños puede absorber mayor cantidad de agua y dar características diferentes al producto procesado (Sánchez y otros 2002).

Kaur y otros (2002) mencionan que el tamaño de los gránulos de los almidones de diferentes cultivares de papa están entre 15 y 20 μm para los gránulos pequeños y de 25-50 μm para los gránulos grandes. Un año después, Singh y otros (2003) reportan los rangos de 1-20 μm para los gránulos pequeños y de 20 – 110 μm para los gránulos grandes de almidón de papa. Noda y otros (2004) reportan un valor promedio del tamaño de gránulo en seis cultivares de papas considerando el eje mayor: Konafubuky 37.6 μm , Benimaru 43.5 μm , Sakurafubuki 44.6 μm , Astarte 45.0 μm , Early Starch 40.7 μm , Hokkai N°87 39.8 μm . Singh y otros (2003) reportan el tamaño para los gránulos de almidón de maíz las cuales se encuentran en un rango de 1-7 μm para los pequeños y de 15-20 μm para los granulos grandes.

Singh y otros (2008) mencionan que los porcentajes de los gránulos grandes, medianos y pequeños varían considerablemente entre los diferentes cultivares, a su vez mencionan que la variación en la morfología y distribución de los gránulos de almidón de papa es altamente significativa a diferencia de otras fuentes de almidón. En la tabla 4 se muestra la variabilidad del tamaño de los gránulos en 5 variedades de papas.

2.3.6.2. Contenido de amilosa y amilopectina.

Los gránulos de almidón de la mayoría de las plantas consisten aproximadamente en una cuarta parte de moléculas de amilosa, fácilmente soluble en el agua y forma una solución ligeramente viscosa difícil de gelatinizar, tienden a formar estructuras helicoidales capaces de incluir a otras moléculas como ácidos grasos o hidrocarburos y las tres cuartas partes esta formada por moléculas de amilopectina (Charley 1989).

Tabla 4 - Propiedades morfológicas de los almidones de diferentes cultivares de papa, mostrando proporción del tamaño granular.

Fuente	Gránulos pequeños (%) (1-10µm)	Gránulos medianos (%) (11-30µm)	Gránulos grandes (%) (>30µm)
Nadine	4.4	34	61.6
Karuparera	1	50	49
Tutaekuri	2.7	69.2	28.1
Huacaroro	3	58.1	38.9
Moemoe	5.1	39.9	55

Fuente: Singh y otros (2008).

Breck (1999) menciona que la relación entre la amilosa y la amilopectina esta gobernada por factores genéticos y puede ser influida por técnicas de reproducción vegetal, de esta manera, el almidón del maíz ordinario tiene una relación aproximadamente de 1:3 (Tabla 5), sin embargo las variedades de maíz ceroso producen un almidón casi libre de amilosa. Kaur y otros (2002), mencionan que el contenido de amilosa de los almidones de tubérculos esta relacionado directamente al tamaño de los gránulos. A su vez también es atribuida a una diferencia en las actividades enzimáticas involucradas en la biosíntesis del componente lineal y ramificado dentro de los gránulos de almidón. Krossmann y Lloyd (2000) mencionan que el contenido de amilosa en los gránulos de almidón es afectado por condiciones climáticas, tipos de suelo durante el crecimiento y la variación con tamaños de gránulos.

La amilosa es importante, ya que es la responsable de los procesos de gelificación y retrogradación del almidón cuando éste es cocido y almacenado. Biliaderis (1998) menciona que los almidones con alto contenido de amilosa, presentan mayor velocidad de retrogradación.

Tabla 5- Características de algunos almidones comunes.

Fuente	Amilopectina %	Amilosa %	Tamaño de gránulos
Maíz	73	27	5 - 25 μm
Maíz rico en amilosa	20 - 45	55 - 80	6 - 25 μm
Papa	78	22	5 - 100 μm
Arroz	83	17	2 - 55 μm
Yuca	82	18	5 - 35 μm
Maíz Céreo	99 - 100	0 - 1	5 - 25 μm
Sorgo Céreo	99 - 100	0 - 1	5 - 25 μm
Trigo	76	24	11 - 41 μm
Oca*	71	29	20 - 29 μm
Maschua*	73	27	5 - 10 μm

Fuente: Badui (1982) y *Villacrés (1999)

Sin embargo, la longitud de las cadenas de la amilopectina influye considerablemente en este fenómeno lo cual afectaría la textura y digestibilidad de los productos elaborados (Yuan y otros 1993). Singh y otros (2007) mencionan que la proporción de amilosa, amilopectina, peso/distribución molecular de amilosa y amilopectina afectan el grado de interacción, resultando una variación en el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones.

Otros autores, también relacionan las altas temperaturas con el alto contenido de amilosa en almidones de trigo (Hung y otros 2007; Kaur y otros 2002). Sin embargo Noda y otros (2004), mencionan que los almidones con bajos contenidos de amilosa tienen un alto pico de viscosidad, pero también afirman que no encontraron correlación con los picos de viscosidad y contenidos de amilosa en almidones de papa. Igualmente Wiesenborn y otros (1994); no encontraron correlación del contenido de amilosa con los picos de viscosidad en 44 variedades de almidones de papa, años después Ganga y Corke (1999), menciona lo mismo en 24 variedades de almidón de papa.

2.3.6.3. Hinchamiento y solubilidad.

Los cambios en la estructura del almidón, como hinchamiento, gelatinización o fragmentación, son afectados por la proporción de agua, la temperatura, el rango de calentamiento, la morfología, la proporción del contenido de amilosa - amilopectina, la agitación, la distribución del tamaño del gránulo, contenido de fósforo, la adición de azúcar, sales, proteínas, lípidos y otros factores (Biliaderis 1998; Kaur y otros 2007; Singh y otros 2003; Singh y otros 2008).

El hinchamiento del gránulo de almidón y la desintegración, durante el cocimiento, están acompañados por cambios significativos en la viscosidad y otras propiedades reológicas de la pasta. Estos son importantes por que indican la utilidad del almidón en aplicaciones específicas y las características que pudieran tener durante la elaboración de alimentos (Gonzales 2003).

La figura 8 muestra un tratamiento hidrotérmico, en el cual la estructura de almidón es modificada, formando una pasta de gránulos hinchados y macromoléculas dispersas.

Cuando los gránulos de almidón son colocados en agua fría, estos absorben el líquido y se hinchan, sin embargo, la cantidad de agua absorbida y el hinchamiento es limitada siendo un proceso reversible (Charley 1989; Singh y otros 2003; Kaur y otros 2007). No obstante el hinchamiento irreversible de los gránulos de almidón ocurre cuando son calentados en una suspensión de agua por encima de la temperatura de gelatinización (Lisinska y Leszczyński 1989). Cada gránulo de almidón hincha de forma diferente (Tabla 6) reflejando diversas diferencias en la organización molecular entre las cadenas de las regiones amorfas y cristalinas del gránulo de almidón (Carrera 1996; Liu y otros 1999; Singh y otros 2003).

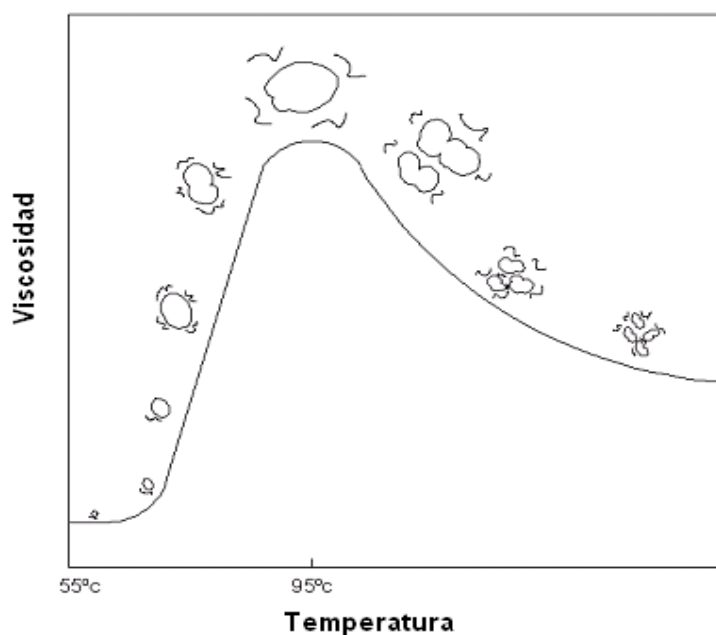


Figura 8 - Curva representativa del viscoamilografo de Brabender, que muestra los cambios en el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración (Fennema 2000).

El poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones de diferentes fuentes difieren significativamente, cuando las moléculas de almidón son calentados en exceso de agua, la estructura cristalina se daña y las moléculas de agua comienzan a unirse entre si por enlaces hidrógeno que están expuestas al grupo hidroxilo de la amilosa y la amilopectina, esto causa un incremento en el hinchamiento y solubilidad de los gránulos (Sandoval y otros 2005).

Tabla 6- Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60 y 90°C.

Muestras	Hinchamiento (%)		Solubilidad (%)	
	60°C	90°C	60°C	90°C
Maíz	2.46	9.23	0.31	1.65
Trigo	2.03	8.36	2.27	3.41
Haba	3.41	7.9	2.94	4.18
Camote	2.3	26.1	0.38	13.2
Papa	8.18	58.09	2.37	25.61

Fuente: Carrera (1996).

Las diferencias del hinchamiento y solubilidad de los almidones de diferentes fuentes botánicas y de cultivares de una sola fuente, es causada por la diferencia del contenido de amilosa y lípidos, así como la organización de los gránulos (Singh y otros 2008). El hinchamiento de los gránulos y el desordenamiento da lugar a una masa viscosa que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopeptina solubilizadas y una fase discontinua de restos de los gránulos (Fennema 2000; Singh y otros 2003). El alto poder de hinchamiento y solubilidad tienen a ser reportados para los almidones de papa con alto contenido de fósforo (Kim y otros 1995; Singh y otros 2008).

El agua difunde a los gránulos, el calor rompe los puentes de hidrógeno y se liberan grupos hidroxilo asociadas a las moléculas de agua, las moléculas del almidón o sus fracciones son liberadas a la solución. Muchos autores reportan que a altas temperaturas (aproximadamente 100°C) la mitad del agua causa la fragmentación parcial de las macromoléculas de almidón orientadas radialmente. La temperatura de gelatinización esta en un rango de 56 - 66°C y varia dependiendo del tamaño de los gránulos de almidón, variedad de la papa, etc. En la etapa inicial de la gelatinización los gránulos de almidón de papa se hinchan rápidamente incrementando más de mil veces su volumen y simultáneamente pierden sus características como la cruz de polarización (Lisinska y Leszczynski 1989).

Un indicativo de la débil integración granular, es cuando hay un decrecimiento de la viscosidad durante la agitación del almidón ceroso precalentado a 90°C (Lui y otros 2008), también, se mencionan que el poder de hinchamiento y solubilidad proporcionan la medida de la magnitud de interacción entre las cadenas de las regiones amorfas y cristalinas en el almidón (Hoover y otros 2001; Singh y otros 2003; Noda y otros 2005).

Kaur y otros (2007a) reportan el poder de hinchamiento a 90°C un rango de 26.3 - 48.6 g/g en 21 variedades de papas. En el mismo año Kaur y otros (2007b) reafirman lo mencionado en tres variedades de papa Kufri Dewa, Kufri Ashoka y Kufri Kunden con 21.09, 24.5 y 27.53 g/g respectivamente. Un año después Singh y otros (2008) también mencionan que el hinchamiento de los gránulos de almidón en 5 variedades

de papas se encuentra entre 35.0 – 40.4 g/g. Sin embargo Yuan y otros (2007) reportaron el valor mas alto para esta propiedad con 90 g/g en almidones de papas provenientes de Jakarta – Indonesia, asu vez también indican que probablemente podría ser causado por la diferencia de las cadenas largas en la estructura de la amilopectina.

Por otro lado también cabe mencionar que el poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones aislados de tubérculos almacenados decrecen con el incremento del tiempo de almacenamiento (Singh y otros 2008).

2.3.6.4 Viscosidad.

La viscosidad se define como la resistencia interna que presentan los líquidos al fluir, cuando se les aplica un esfuerzo cortante; representan la fricción entre las diversas capas, que impiden que fluyan libremente. La viscosidad aparente es la expresión que se usa para una relación del esfuerzo cortante entre la tasa de corte para un flujo no newtoniano, que depende de la tasa de corte aplicada (Badui 1988).

Conocer las propiedades reológicas de los alimentos semisólidos y fluidos, es de suma importancia en el diseño de procesos de flujo, en control de calidad, en las mediciones de estabilidad, en el almacenamiento, en el procesamiento, comprensión y designación subjetiva de los atributos alimenticios (Davis 1973), como el de la textura en sólidos, consistencia en los semisólidos y la viscosidad para los líquidos (Badui 1988).

A través de los estudios reológicos es posible clasificar los diferentes fluidos como los newtonianos y no newtonianos (Plásticos, tixotrópicos, pseudoplásticos, Dilatantes). El fluido pseudoplástico se caracteriza porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta el gradiente de velocidad de deformación. Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo, y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular así como a la dispersión de sólidos en la fase sólida (Garza 2007).

De los modelos utilizados para describir el comportamiento reológico de los fluidos pseudoplásticos, el más conocido y simple de aplicar es el de Ostwald-De Waale, también conocido como ley de la potencia (Garza 2007):

$$\tau = K \gamma^n \quad (1)$$

Matos y Menegalli (1998) mencionan que la viscosidad aparente (η_{ap}) de un fluido no newtoniano puede expresarse como:

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2)$$

Ecuación (1) en (2)

$$\eta_{ap} = K (\gamma)^{n-1}$$

$$\eta_{ap} = \frac{K \gamma^n}{\gamma}$$

Donde τ es el esfuerzo de corte en pascales (Pa.s), γ es la velocidad de corte (s^{-1}), K es el índice de consistencia ($Pa.s^n$) y n es el índice de comportamiento de flujo (adimensional) (Razavi y otros 2007).

La dilatancia evidencia la elaboración o reorganización de estructuras, dando como resultado un aumento de la resistencia al aplicar una fuerza (Rha 1978). Un comportamiento pseudoplástico es debido a la presencia de:

- Compuestos de elevado peso molecular o partículas alargadas a concentración suficientemente baja.

- Alta interacción entre las partículas, causando su agregación o asociación por enlaces secundarios.
- Variación de la forma y tamaño de las partículas permitiendo su apilamiento.
- Partículas no rígidas o flexibles, que puedan sufrir un cambio en su geometría o su conformación.
- La dilatación puede explicarse por la presencia de diferentes formas y tamaños de partículas, ceñidas y estrechamente empaquetadas, con lo que el flujo se torna relativamente más dificultoso con el aumento de la presión.

Existen muchos factores que influyen en el comportamiento reológico de los alimentos como son la presión, la estructura del alimento, el gradiente de velocidad o velocidad de deformación y el tiempo de tratamiento de la muestra. Pero son, quizás, la temperatura de tratamiento, la concentración del alimento y la velocidad de corte los más importantes y los que más se han estudiado (Garza 2007).

Charley (1989) menciona que la viscosidad máxima de una pasta cocida, coincide con la liberación del exudado y el plegamiento (deformación) de los gránulos de almidón hinchados. Por consiguiente, el aumento de la viscosidad al calentarse una suspensión de almidón en agua, es una forma conveniente de evaluar el progreso de la formación de pasta, la viscosidad de la pasta resulta de la resistencia al flujo de los gránulos más grandes, los cuales ocupan todo el volumen de la pasta formada. En este estado, los gránulos son fácilmente desintegrados mediante una nueva agitación, lo cual provoca una disminución de la viscosidad en la pasta (Fennema 2000).

Los equipos comúnmente usados para registrar los cambios de viscosidad de soluciones o pastas de almidón calentadas son el Viscosímetro Scout, rapid visco analyser (RVA), Viscosímetro Brookfield y el Viscosímetro Brabender (amilografo) el cual es muy utilizado, este es un viscosímetro rotacional que opera a una velocidad constante y somete el producto en un ciclo de calentamiento y enfriamiento, registrando de forma continua la resistencia al flujo durante este periodo (Lewis 1993).

Hurtado (1997) reporta la viscosidad para 31 muestras de almidones entre las que se encuentran la papa *Solanum tuberosum* (papa industrial) a una concentración de 4 % (p/v) que se encuentra en un rango de 20 - 25 Pa.s, y para la variedad Parda entre 15 - 20 Pa.s, esto solo comparado con la achira roja (*Cana indica*) y Cubio (*Tropaeolum tuberosum*).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Lugar de ejecución.

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes laboratorios:

- Laboratorios del Centro de Internacional de la Papa (CIP).
- Laboratorio de análisis de alimentos e instrumental de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.2. Materia prima.

Se tomaron muestras de 2 a 5 kg de tubérculos de 24 cultivares del grupo *Solanum phureja*. Los cuales se escogieron al azar de un total de 192 cultivares, y también se incluyó muestras de 2 cultivares mejorados (Ver tabla 7), cosechados en el campo de la estación experimental del Centro Internacional de la Papa - Huancayo, Fundo La Victoria, situado en el Distrito El Tambo, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín, a 3315 m.s.n.m., 12° 03' 87" Latitud Sur y 75° 12' 49" Longitud Oeste. Se utilizó como muestra testigo almidón comercial importado de papa y almidón de Maíz y Camote.

Tabla 7 - Lista de los cultivares del grupo *Solanum phureja* y variedad mejorada provenientes de las localidades de La Victoria.

N°	Número CIP	Nombre del cultivar	Grupo taxonómico
1	701570	Chaucha	<i>S.phureja</i>
2	703282	Ishco Puro	<i>S.phureja</i>
3	703294	Desconocido	<i>S.phureja</i>
4	703308	Chaucha Curilla Redonda	<i>S.phureja</i>
5	703325	CPY-143-1	<i>S.phureja</i>
6	703506	Papa Ibia Rosada	<i>S.phureja</i>
7	703510	Amarilla	<i>S.phureja</i>
8	703513	Desconocido	<i>S.phureja</i>
9	703514	Desconocido	<i>S.phureja</i>
10	703546	Argentina Blanca	<i>S.phureja</i>
11	703570	Desconocido	<i>S.phureja</i>
12	704227	Ratona	<i>S.phureja</i>
13	705154	Desconocido	<i>S.phureja</i>
14	705155	Desconocido	<i>S.phureja</i>
15	705162	Desconocido	<i>S.phureja</i>
16	705165	Desconocido	<i>S.phureja</i>
17	705167	Desconocido	<i>S.phureja</i>
18	705197	Desconocido	<i>S.phureja</i>
19	705227	Hualcala	<i>S.phureja</i>
20	705806	Desconocido	<i>S.phureja</i>
21	705816	Mambera Amarilla	<i>S.phureja</i>
22	706767	Churilla Brote Blanco	<i>S.phureja</i>
23	706790	Chaucha Amarilla Larga	<i>S.phureja</i>
24	706824	Chaucha	<i>S.phureja</i>
25	380389.1	Canchan Inia	Var. Mejorada
26	374080.5	Perricholi	Var. mejorada

En la figura 9 se muestran la variabilidad de la forma, tamaño, color de piel, color de pulpa y brotamiento de las variedades en este estudio.



701570 - Chaucha



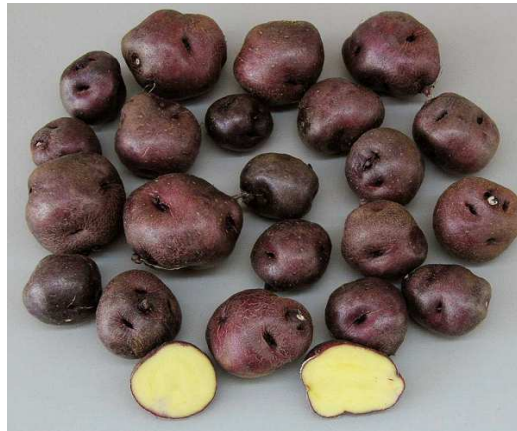
703282 - Ishco puro



703294 - Desconocido



703308 - Ch. Curilla Redonda



703325 - CPY - 143 - 1



703506 - Papa ibía rosada

Figura 9 - Tubérculos de los cultivares *S. phureja* considerados en el estudio



703510 - Amarilla



703513 - Desconocido



703514 - Desconocido



703546 - Argentina blanca



703570 - Desconocido



704227 - Ratona

Figura 9 - Tubérculos de los cultivares *S. phureja* considerados en el estudio (Continuación)



705154 - Desconocido



705162 - Desconocido



705165 - Desconocido



705167 - Desconocido



705227 - Hualcala



705806 - Desconocido

Figura 9 - Tubérculos de los cultivares *S. phureja* considerados en el estudio (Continuación)



705816 - Mambera amarilla



706767 - Churilla brote blanco



706790 - Chaucha amarilla larga



706824- Chaucha

Figura 9 - Tubérculos de los cultivares *S. phureja* considerados en el estudio (Continuación)

3.3. Equipos, materiales y reactivos.

3.3.1. Equipos.

- Balanza analítica, Call Mettler Toledo AB 204 (0,001g).
- Balanza mecánica OHAUS (210 g, 2000g)
- Baño maría con agitación Taitec – Personal 11 (10-100°C).
- Centrifuga Beckman J2-21.
- Estufa LABOR MUVEX (30-110°C).
- Estufa BINDER FD –15.
- Reómetro (Brookfield RV-DB-III)
- Licuadora Industrial 3500 RPM.
- Equipo de SEMI MICRO-KJELDALL.
- Campanas desecadoras.
- Mufla Temperatura de operación 580°C.
- Espectrofotómetro SHIMADSU UV-VISIBLE 200 – 800nm.
- Extractor soxhlet FORTUNA WGG NS45/40.
- Microscopio OLIMPUS UVH 40X.
- Viscosímetro Brookfield DV. cilindro SCA-27.
- Refrigeradora COLDEX.
- Termómetro.

3.3.2. Materiales.

- Balón Kjeldal.
- Matraz de 300 ml.
- Probetas 100, 50 ml.
- Pipetas volumétricas 5-10ml.
- Placas petri.
- Fiolas 50, 100 ml.
- Beakers 50, 100, 200, 500, 1000, 4000 ml.

- Tubos de ensayo.
- Tubos de centrifuga Cornix n° 6.
- Embudos.
- Tamices 60, 150, 200 mesh.
- Baguetas de vidrio.
- Gradillas.
- Pipetor 1000, 5000µl Eppendorf.
- Agitador 10 velocidades Vortex.
- Papel filtro libre de ceniza, Watman n° 2.
- Papel filtro para fibra.
- Papel Aluminio.
- Bolsas plásticas de polietileno.
- Bandejas.
- Pinzas.

3.3.3. Reactivos.

- Ácido acético glacial 99.8% Merk.
- Ácido clorhídrico 99.5% Merk.
- Ácido sulfúrico 99.5% Merck.
- Amilosa purificada, tipo III de papa, Sigma.
- Amilopectina de papa purificada Sigma.
- Bisulfito de sodio 65% Sigma.
- Etanol 99.8% Merck.
- Éter de petróleo 90% Merk.
- Hidroxido de sodio 99%.
- Yodo Fisher Qp.
- Yoduro de Potasio 99.5%, Merk.
- Verde Bromocresol Qp.
- Sulfato de cobre Merck Qp.
- Sulfato de magnesio Merck Qp.

3.4. Métodos de análisis.

3.4.1. Análisis proximal de la materia prima.

La determinación del análisis proximal se realizó a las muestras frescas.

3.4.1.1. Humedad.

Por el método de la A.O.A.C (1995); basado en la pérdida de peso por calentamiento de la muestra en estufa a 110 °C hasta peso constante.

3.4.1.2. Proteína.

Por el método semi micro kjeldahl (A.O.A.C (1995), para el cual se pesó 0.6g de muestra mas 1 g de catalizador, la digestión se realizó por 3 horas aproximadamente, luego se destiló la muestra donde los gases de nitrógeno son recuperados en un Erlen meyer de 250 ml el cual contiene 5ml de ácido bórico más indicador, finalmente la muestra es titulada con ácido clorhídrico 5N. Para conocer la cantidad total de proteína en la muestra se multiplicó por el factor proteico (6.25).

3.4.1.3. Grasa.

Por el método Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente (A.O.A.C 1995).

3.4.1.4. Fibra.

Por el método de la hidrólisis ácida y alcalina en caliente (A.O.A.C 1995).

3.4.1.5. Carbohidratos.

Por diferencia después de haber completado los análisis de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas.

3.4.2. Extracción de almidón.

Para la extracción de almidones se estandarizó un protocolo basada en la metodología propuesta por Lisinska y Leszczynski (1989) el cual se puede observar en la figura 10, se utilizó 1 kg de muestra por cada proceso de licuado. Se usa una licuadora industrial a 3500 rpm, 1:3, papa: agua por 2 minutos. Para

ello se realizaron pruebas preliminares donde se utilizaron 2 tipos de licuadoras (industrial con 3500 rpm y domestica con 11000 rpm) de las cuales en este estudio se trabajaron con la licuadora industrial. Por ser la que no causa deterioros en los gránulos de almidón.

Selección de materia prima: la materia prima que fue utilizada para la extracción del almidón no presentó ningún daño físico (como podredumbres, presencia de solanina, etc).

Lavado: El objetivo fue eliminar la mayor parte de las impurezas (tierra y hojas) adheridas a la cáscara, se realizó con agua corriente en forma manual.

Picado: Para reducir el tamaño de las papas, antes de proceder al licuado.

Licuado: Se realizó en una licuadora Industrial a 3500 rpm con la finalidad de que las estructuras que encierran los almidones sean completamente libres para su extracción con agua sulfatada a una concentración de 0.1 % hasta que los gránulos se muestren libres de los tejidos del tubérculo.

Tamizado: La lechada obtenida del licuado fue pasada por tamices de 80, 100, 150 y 200 mesh, donde el cambio de tamiz se realizó después de cada lavado y así separar la mayor parte de la fibra celulósica.

Sedimentado: La suspensión de almidón se dejó decantar hasta un líquido claro del sobrenadante. El almidón es recuperado al fondo del recipiente, quedando una torta bien comprimida.

Lavado: Se realizó removiendo el sedimento del fondo de los envases con agua destilada (las repeticiones se realizo después de cada sedimentación).

Secado: Con el propósito de eliminar toda el agua que presenta el almidón. A una temperatura de 32 °C por un tiempo de 24 horas.

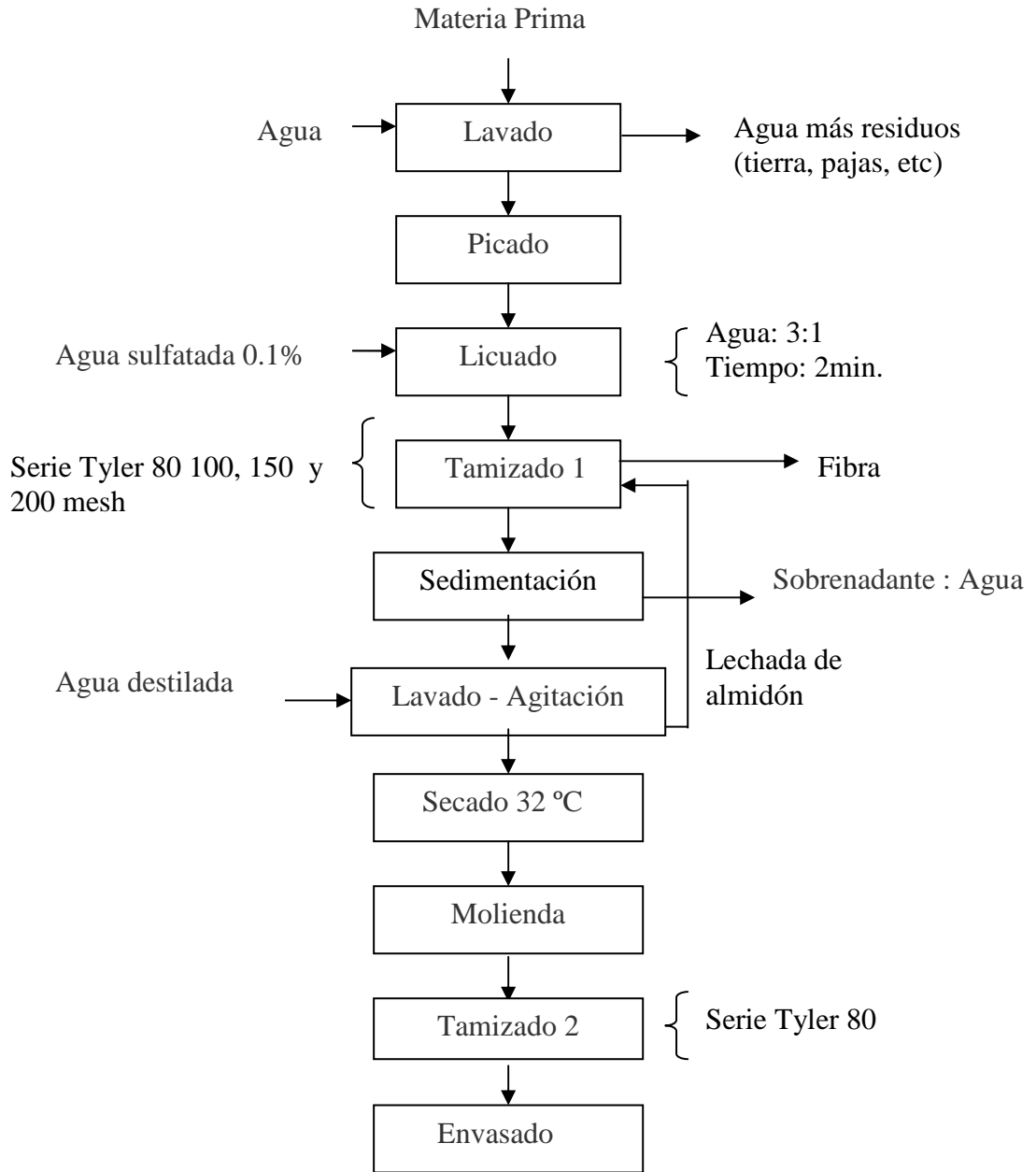


Figura 10 - Diagrama de flujo para la extracción de almidón.

Molienda: Es el proceso en el cual se dispersan los bloques de almidón formados en el proceso de secado.

Tamizado 2: Se realiza con una malla de 80 mesh para asegurar una molienda uniforme.

Envasado: Con la finalidad de proteger al producto obtenido de la humedad y de sustancias extrañas y darle un mejor almacenamiento, el envasado se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad.

3.4.3. Caracterización del almidón extraído.

3.4.3.1. Características Morfológicas.

Para determinar la morfología y distribución de los gránulos del almidón de las papas se utilizó un microscopio de luz normal Olympus BH-2 con máquina fotográfica incorporada. Donde se prepararon soluciones de 0.3 % de almidón para luego colocar una gota de la solución en una lámina porta objeto. El tamaño y la superficie de los gránulos de almidón se determinaron mediante el programa Image Tool v. 3 (Donald y otros 2002), donde se midieron el eje mayor y menor de 600 gránulos de almidón por cada variedad. Siguiendo la clasificación del tamaño de los gránulos de almidón de papa por Jane y Shen (1993), se procedió a clasificar los gránulos, grandes $> 45 \mu\text{m}$, medianos $20 - 45 \mu\text{m}$ y pequeños $< 20 \mu\text{m}$.

3.4.3.2. Contenido de amilosa.

Se utilizó el método colorimétrico, que consiste en medir la intensidad del color azul del complejo formado con una solución de yodo (ISO 6647) (Anexo 1) y para medir la confiabilidad del método se utilizó un segundo método McGrance y otros (1998), el cual consiste en dispersar los almidones con DMSO (dimetil sulfoxido) (Anexo 1).

3.4.3.3. Hinchamiento y Solubilidad.

Se utilizó el método Schoch (1957) que consiste en someter las suspensiones de almidón en baños de agua a diferentes temperaturas desde 60, 70, 80 y 90 °C. Para luego de centrifugar a 10000 rpm por 15 min, se separó el sobrenadante para

cuantificar el porcentaje de solubles; y de la pasta sedimentada se cuantificó el porcentaje de hinchamiento (Anexo 3).

3.4.3.4. Viscosidad.

Se prepararon pastas de almidón al 4 % (p/v) en agua deionizada, colocando en un baño de agua con agitación a 95 °C durante 15 minutos y posteriormente enfriar hasta temperatura ambiente. La viscosidad aparente de las pastas frías se midieron a 25 °C en un Viscosímetro Brookfield RV (modelo DV-III) utilizando un Huso cilíndrico SC4-27.

3.5. Método experimental.

La investigación se realizó en dos etapas (Ver figura 11).

- Extracción del almidón.
- Caracterización de almidón.

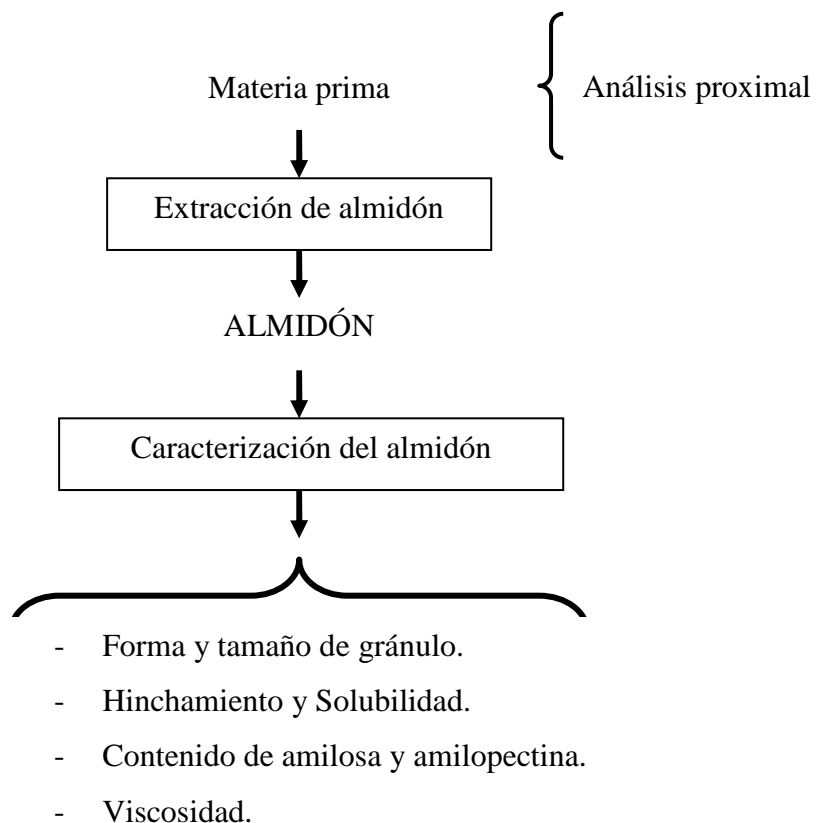


Figura 11 - Esquema de caracterización del almidón de papa.

3.6. Análisis estadístico.

Para evaluar la variabilidad de los análisis entre los cultivares se realizaron pruebas de variancia bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones. Las medias entre los grupos fue comparado con la prueba de rangos múltiples de Waller-Duncan para los datos paramétricos y la prueba de Kruskal Wallis para los datos no paramétricos. Todas las pruebas se realizaron con el paquete estadístico SAS/STAT (versión 9.1) software.17 (SAS 1999), con excepción de la prueba de Kruskal Wallis que fueron realizadas con el paquete estadístico R versión 1.0-3.0 (De Mendiburu 2007).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis proximal de las papas.

El análisis proximal de las papas se muestran en la Tabla 8, donde se observa una alta variabilidad para cada componente de los cultivares en estudio. En el análisis estadístico que se muestra en el anexo 3, se determinó diferencias altamente significativas con $p < 0.01$ para los análisis de contenido de humedad, proteína, ceniza, grasa y fibra.

El contenido de humedad de los cultivares, en este estudio, se encuentra en un rango de 73.1 - 81.1 %, siendo los cultivares 703570, 703513, 703546, 703308 y 703546 que presentaron los más bajos contenidos de humedad con 71.5, 73.1, 73.2 y 73.2 % respectivamente. Las variedades mejoradas Canchan y Perricholi mostraron 78 y 80.1 % respectivamente, estos resultados concuerdan con lo reportado por Lisinska y Leszczynski (1989) y Bonierbale y Amoros (2001).

Segura (2004) reportó el contenido de humedad para 15 cultivares de papas nativas desde 66.2 - 78 %. Jiménez y otros (2007) reportaron un promedio de 80.06 % de humedad para las variedades mejoradas. Estos datos son semejantes a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 8 - Análisis proximal de los cultivares en estudio expresados en base seca (bs).

Número CIP	Nombre del cultivar	Humedad*	Proteína*	Ceniza*	Fibra [§]	Grasa [§]	Carbohidratos [§]
701570	Chaucha	77.76 ± 0.66 ^{cd}	14.29 ± 0.31 ^a	7.07 ± 0.03 ^{abc}	2.72 ± 0.18 ^{efghi}	0.70 ± 0.11 ^{def}	75.36 ± 0.03 ^m
703282	Ishco Puro	77.72 ± 0.11 ^{cd}	9.66 ± 0.54 ^{ghi}	6.57 ± 0.20 ^{bcd}	3.43 ± 0.17 ^a	1.56 ± 0.14 ^c	78.65 ± 0.46 ^{hijk}
703294	Desconocido	73.84 ± 0.06 ^j	9.52 ± 0.55 ^{ghi}	8.13 ± 0.39 ^{ab}	3.13 ± 0.05 ^{bcde}	0.58 ± 0.02 ^{fg}	78.87 ± 0.82 ^{ghijk}
703308	Ch. Curilla Redonda	73.25 ± 0.21 ^{jkl}	10.04 ± 0.19 ^{efg}	5.25 ± 0.27 ^{fgh}	2.49 ± 0.07 ^{ghi}	0.23 ± 0.05 ^{klm}	82.11 ± 0.28 ^{bcd}
703325	CPY-143-1	73.81 ± 0.40 ^j	11.70 ± 0.02 ^{bc}	6.72 ± 0.98 ^{bc}	2.64 ± 0.09 ^{efghi}	0.64 ± 0.01 ^{def}	78.31 ± 0.87 ^{ijkl}
703506	Papa Ibia Rosada	75.64 ± 0.66 ⁱ	8.17 ± 0.14 ^{jkl}	6.55 ± 0.35 ^{bcd}	4.32 ± 0.19 ^a	0.21 ± 0.09 ^{klm}	80.77 ± 0.12 ^{cdefg}
703510	Amarilla	76.53 ± 0.14 ^{ef}	7.14 ± 0.26 ^{lm}	4.98 ± 0.02 ^{fgh}	3.21 ± 0.05 ^{bc}	2.26 ± 0.24 ^b	82.26 ± 0.17 ^{bc}
703513	Desconocido	73.14 ± 0.08 ^{kl}	10.40 ± 0.51 ^{def}	5.54 ± 0.98 ^{efg}	2.48 ± 0.01 ^{ghi}	0.82 ± 0.04 ^{de}	80.64 ± 0.27 ^{cdefgh}
703514	Desconocido	76.44 ± 0.04 ^{efg}	9.56 ± 1.69 ^{hi}	7.02 ± 0.14 ^{abc}	2.90 ± 0.11 ^{cdefgh}	0.61 ± 0.01 ^{def}	79.47 ± 2.17 ^{efghij}
703546	Argentina Blanca	73.18 ± 0.37 ^{jkl}	8.06 ± 0.16 ^{jkl}	5.37 ± 0.11 ^{efg}	2.74 ± 0.05 ^{cdefghi}	0.20 ± 0.02 ^{klm}	83.66 ± 0.17 ^b
703570	Desconocido	71.56 ± 0.11 ^l	8.13 ± 0.93 ^{jkl}	7.65 ± 0.75 ^{abc}	3.16 ± 0.40 ^{bcde}	0.45 ± 0.06 ^{ghi}	81.15 ± 0.39 ^{cdef}
704227	Ratona	75.39 ± 0.31 ⁱ	6.63 ± 0.09 ^m	5.42 ± 0.22 ^{def}	1.60 ± 0.23 ^j	0.16 ± 0.01 ^m	86.22 ± 0.09 ^a
705154	Desconocido	78.75 ± 0.08 ^{abc}	11.25 ± 1.52 ^{cde}	6.14 ± 0.64 ^{cde}	2.46 ± 0.01 ^{hi}	0.68 ± 0.03 ^{def}	79.95 ± 2.41 ^{efghij}
705155	Desconocido	75.44 ± 0.71 ⁱ	6.32 ± 0.27 ^m	8.26 ± 2.66 ^{abc}	2.88 ± 0.28 ^{cdefgh}	0.90 ± 0.04 ^d	81.50 ± 2.76 ^{cdef}
705162	Desconocido	81.05 ± 0.16 ^a	14.19 ± 0.49 ^a	9.32 ± 0.47 ^a	2.95 ± 0.72 ^{cdef}	0.29 ± 0.01 ^{ijkl}	72.97 ± 0.11 ⁿ
705165	Desconocido	73.72 ± 0.51 ^{jk}	9.79 ± 0.10 ^{fgh}	7.18 ± 0.76 ^{abc}	3.06 ± 0.05 ^{bcdef}	0.55 ± 0.03 ^{fgh}	79.42 ± 0.69 ^{efghij}
705167	Desconocido	75.79 ± 0.45 ^{hi}	11.84 ± 0.20 ^{bc}	6.52 ± 1.33 ^{bc}	3.17 ± 0.11 ^{bcd}	0.37 ± 0.04 ^{hij}	77.99 ± 1.46 ^{ijkl}
705197	Desconocido	76.29 ± 0.20 ^{fgh}	12.64 ± 0.43 ^{ab}	5.24 ± 0.30 ^{efgh}	4.22 ± 0.16 ^a	0.69 ± 0.20 ^{def}	77.30 ± 0.64 ^{klm}
705227	Hualcala	80.40 ± 0.19 ^a	9.00 ± 0.26 ^{ij}	4.06 ± 0.16 ^h	2.62 ± 0.13 ^{efghi}	0.26 ± 0.17 ^{jklm}	83.93 ± 0.39 ^b
705806	Desconocido	77.04 ± 0.35 ^{de}	9.82 ± 0.12 ^{fgh}	5.31 ± 0.16 ^{efg}	3.17 ± 0.08 ^{bcd}	0.20 ± 0.06 ^{lm}	81.54 ± 0.15 ^{cde}
705816	Mambera Amarilla	77.02 ± 0.02 ^{de}	11.76 ± 0.32 ^{bcd}	4.70 ± 0.23 ^{fgh}	2.84 ± 0.10 ^{cdefgh}	2.21 ± 0.10 ^b	78.67 ± 0.36 ^{ghijk}
706767	Churilla Brote Blanco	76.06 ± 0.01 ^{ghi}	9.56 ± 0.12 ^{ghi}	4.57 ± 0.16 ^{gh}	2.92 ± 0.08 ^{cdefg}	2.86 ± 0.03 ^a	80.14 ± 0.16 ^{defgh}
706790	Ch. Amarilla Larga	75.36 ± 0.25 ⁱ	10.67 ± 0.86 ^{cdef}	5.39 ± 0.10 ^{def}	2.38 ± 0.05 ^{hi}	0.21 ± 0.00 ^{klm}	81.19 ± 1.30 ^{cdef}
706824	Chaucha	76.30 ± 0.36 ^{fgh}	11.34 ± 0.40 ^{cde}	5.26 ± 0.15 ^{fgh}	4.03 ± 0.04 ^a	2.89 ± 0.13 ^a	76.25 ± 0.08 ^{lm}
380389.1	Canchan Inia	78.00 ± 0.19 ^{bcd}	7.60 ± 0.22 ^{klm}	5.32 ± 0.29 ^{efg}	2.66 ± 0.02 ^{efghi}	0.34 ± 0.11 ^{hijk}	84.16 ± 0.15 ^{ab}
374080.5	Perricholi	80.13 ± 0.55 ^{ab}	8.45 ± 0.97 ^{jk}	6.99 ± 1.35 ^{abc}	3.91 ± 0.62 ^a	1.90 ± 0.57 ^{bc}	78.19 ± 2.56 ^{ijkl}

* Diferentes letras muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel $\alpha=0.05$. Según el análisis de Kruskal Wallis \pm Desviación estándar.

[§]Diferentes letras muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel $\alpha=0.05$. Según el análisis de Waller y Duncan \pm Desviación estándar.

El contenido de proteína en el grupo de las phurejas se encuentra en un rango de 6.3 - 14.3 % (bs), estos resultados concuerdan con lo reportado por Lisinska y Leszczynski (1989). Los cultivares 701570, 705162, 705197 mostraron los contenidos más altos de proteína con 14.3, 14.2, 12.6 % respectivamente y los valores más bajos pertenecen a los cultivares 703510, 704227 y 705155 que presentan 7.1, 6.6 y 6.3 % (bs). Las variedades mejoradas Canchan y Perricholi con 7.6 y 8.4 % respectivamente mostraron contenidos bajos.

El contenido de ceniza reportó rangos de 4.0 - 7,6 % (bs), rango superior con respecto al contenido de las papas mejoradas, 0.44 - 4.04 % (bs) (Linsinska 1989; Wischmann y otros 2007; Jiménez y otros 2007).

El contenido de fibra se encontró en un rango de 1.6 - 4.3 % (bs), estos valores son ligeramente superiores a lo reportado por Wischmann y otros (2007) y Jimenez y otros (2007) quienes mencionan rangos de 0.2-3.5 % .

El contenido de grasa se encuentra en un rango de 0.16 - 2.90 % (bs), los mayores contenidos comprenden a los cultivares 706824, 706767 y 703510 con 2.9, 2.9 y 2.3 % (bs) respectivamente y los más bajos representaron los cultivares 704227 con 0.16 %, y 705806, 703546 ambos con 0.20 % (bs). Todos los valores encontrados en esta investigación concuerdan con la información reportada en la literatura a excepción del contenido de ceniza.

La variabilidad en la composición de los tubérculos es influenciado mayormente por las diferencias genéticas y por factores ambientales donde se desarrollan las plantas, esto determinará el tiempo en que la planta dispongan de sus reservas de energía (Santacruz 1995), y de los otros componentes tales como proteína, ceniza, fibra, grasa y minerales. Otros factores que afectan la composición también son la edad, madurez fisiologica del cultivo, caracterisitcas del suelo (salinidad, nutrientes y fertilización del suelo) y las condiciones durante el crecimiento de la planta como: fertilización,

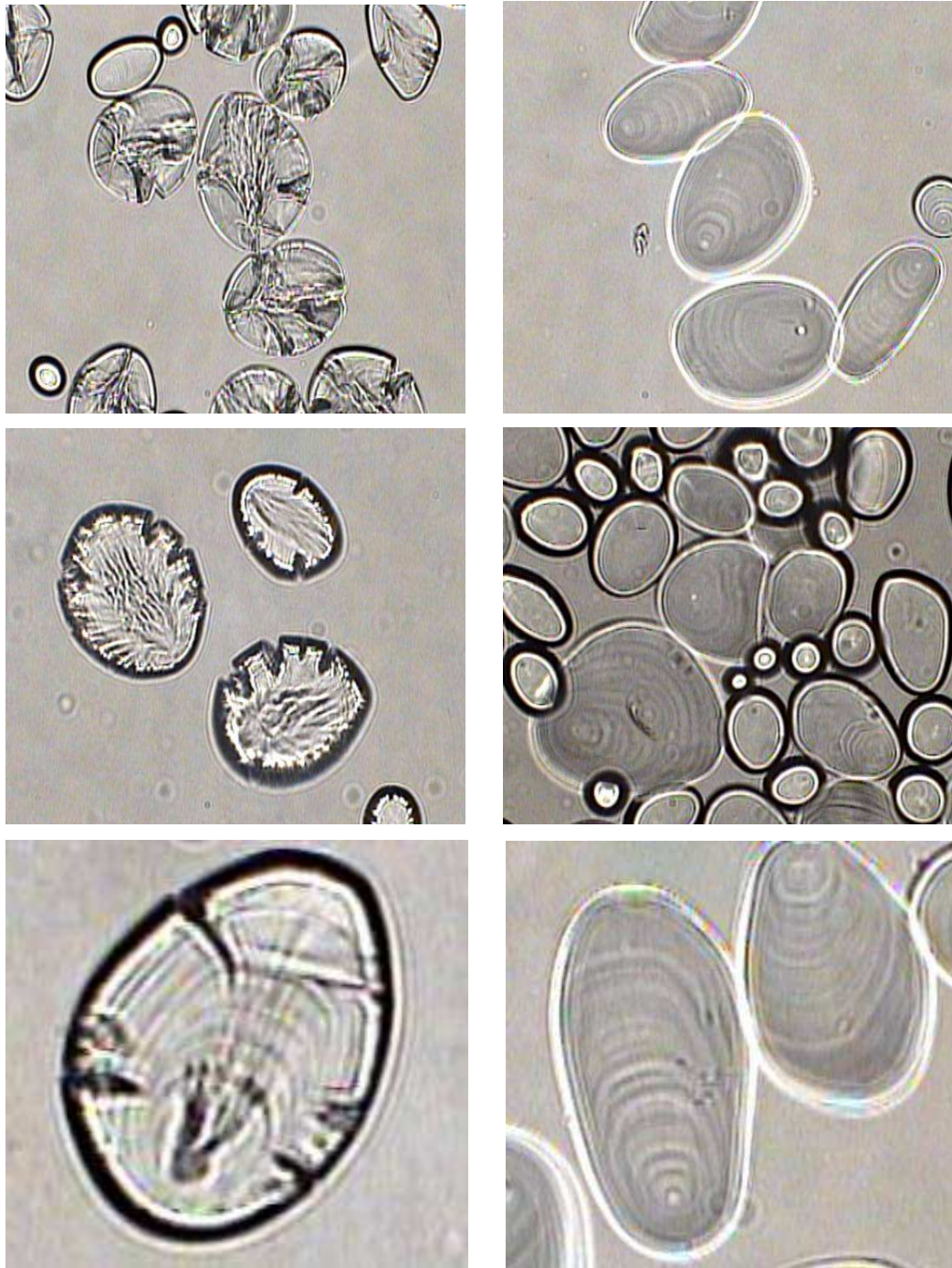
pesticidas, enfermedades, etc. (Lisinska y Leszczynski 1989; Vasanthan y otros 1999; Mishra y Rai 2006; Wischman y otros 2007; Singh y otros 2007).

4.2 Extracción del almidón de los cultivares en estudio.

El proceso de extracción, del almidón es una etapa muy importante para la caracterización del almidón, la ejecución determina la integridad del grano al que influye los propósitos del mismo. Los gránulos aislados no deben mostrar ningún daño mecánico las cuales son causados al momento de su extracción.

El factor que contribuye al daño de los gránulos es el almacenamiento de los tubérculos a bajas temperaturas (refrigeración), que debilitan y dañan la superficie de los gránulos del almidón ocasionadas por el incremento en la degradación enzimática (α y β amilasa) del almidón (Singh y otros 2008).

En esta investigación, para la extracción de los almidones se realizaron pruebas preliminares con el cultivar Canchan donde se utilizaron dos licuadoras que proporcionan velocidades de 3500 y 11000 rpm. Se obtuvo alto porcentaje de rompimiento de los gránulos con la licuadora de mayor revolución como se observa en la figura 12, por lo que, se seleccionó a la licuadora de menor intensidad de rotación de 3500 rpm manteniendo intacto los gránulos.



(a) 11000 rpm

(b) 3500 rpm.

Figura 12 - Microfotografías de los gránulos de almidón extraídos de la variedad Canchan con licuadora en dos intensidades de rotación (rpm), con un aumento de 40X.

Jiménez y otros (2007) utilizando un proceso de extracción con homogenizador modelo 853-10 (Osterizer-México) a una velocidad máxima, reportan que la presencia de los gránulos dañados en el almidón de Chayote (*Sechium edule*) fueron altos respecto a los almidones de papa y maíz, probablemente el método de aislamiento fue demasiado fuerte durante la homogenización, para ello también es necesario considerar el tiempo y la velocidad de este proceso.

Gonzales y otros (2006) señalan, que los gránulos dañados, son los únicos que pueden absorber agua a temperatura ambiente, esto puede ocasionar alteraciones en los resultados de análisis de absorción de agua e hinchamiento de los gránulos a su vez también podrían ocasionar altos grados de retrogradación.

En la figura 13, se muestra los rendimientos de la extracción de almidón los cuales se encuentran en un rango de 8.47- 16.03 % (bh), los cultivares 705167, 705816, 705165 y 703308, mostraron los más altos rendimientos con 16.05, 14.68, 14.56, y 12.91 % respectivamente. El contenido de almidón en las papas mejoradas fueron de 13.28 y 7.23 % (bh) para Canchan y Perricholi respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del rango mostrado por Wistler y otros (1984) y Lisinzka y Leszczynski (1989).

Wischman y otros (2007) mencionan que una de las dificultades en el aislamiento de almidón a escala de laboratorio, es asegurar que ninguno de los gránulos más pequeños se pierdan durante el exhaustivo lavado de la pasta del almidón, también reportan, que los almidones procesados a nivel industrial tuvieron mayor cantidad de gránulos pequeños frente a un proceso en laboratorio. Por consiguiente podemos mencionar que los factores ya mencionados pueden interferir en el rendimiento del almidón.

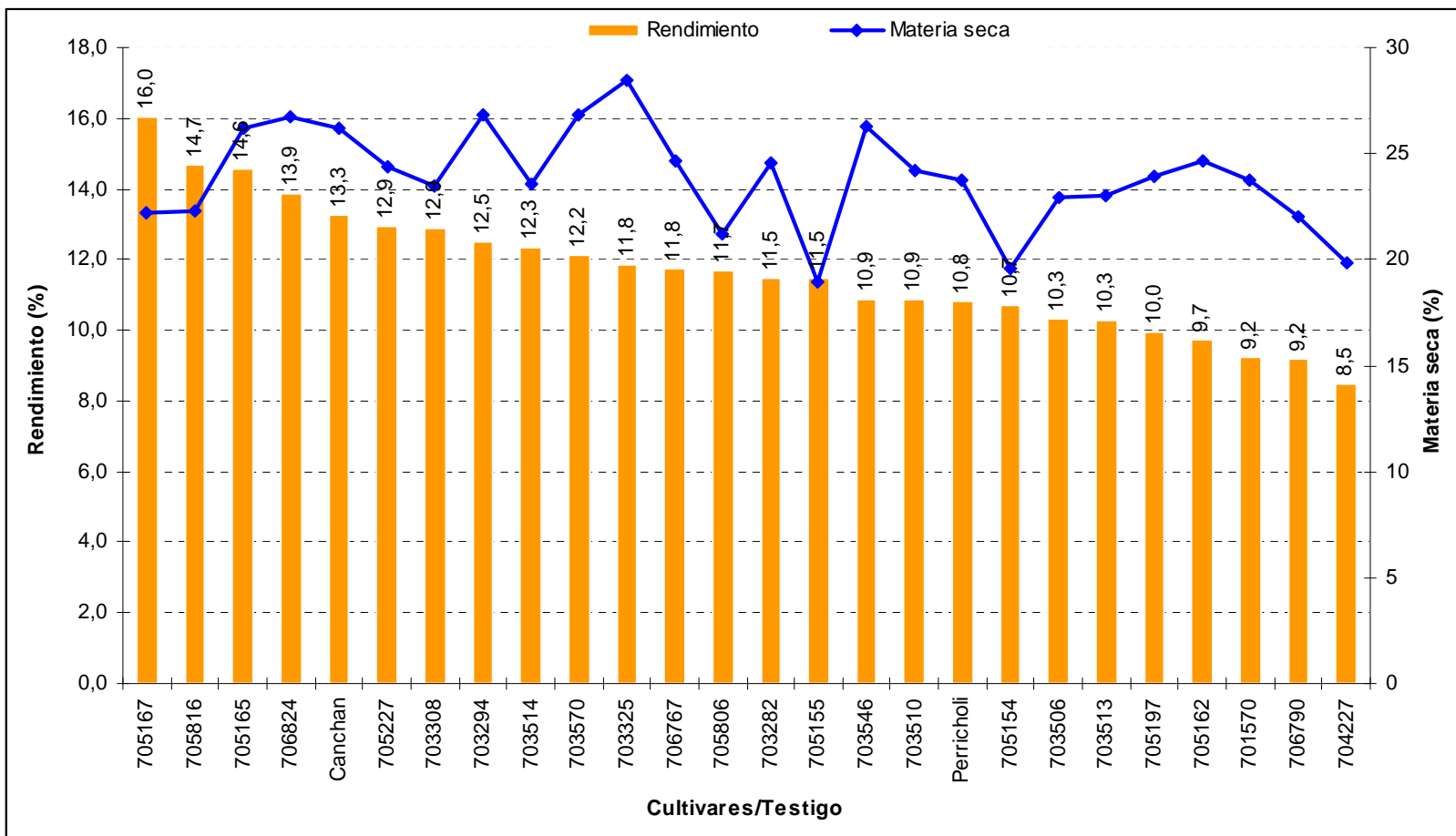


Figura 13 - Rendimiento de almidones y contenido de materia seca de los cultivares en estudio.

Hurtado (1997) afirma que los rendimientos y tasas de extracción representan una relación proporcional con los contenidos de materia seca y de almidón. Sin embargo en este estudio no se encontró una correlación aparente entre contenido de materia seca y rendimiento de almidón; esto podría deberse a que las papas phurejas muestran diferentes grados de dormancia, ocurriendo un brotamiento acelerado en algunos inmediatamente después de la madurez fisiológica, lo que significa una mayor velocidad metabólica y por consiguiente degradación rápida de los gránulos de almidón para ser utilizados como energía en los nuevos brotes de la planta (Kazami y otros 2000; Singh y otros 2008).

Cabe mencionar que la velocidad de reducción metabólica del almidón y acumulación de azúcares dependen principalmente del cultivar y de la temperatura de almacenamiento, posiblemente, debido a la variación en la actividad enzimática (Kazami y otros 2000; Singh y otros 2008), esto ocasiona que aumente la velocidad de brotación de los tubérculos, ya que de por sí los tubérculos del grupo *Solanum phureja* no tienen dormancia.

4.3 Caracterización del almidón.

4.3.1 Determinación de humedad, proteína y grasa en los almidones.

En la tabla 9 se muestra los contenidos de humedad, proteína y grasa del almidón en 8 cultivares del grupo phureja, las cuales fueron seleccionadas por el alto contenido de proteína y grasa que presentaron en el análisis proximal de los tubérculos. Las muestras tienen en promedio de 14.3 % de humedad, 0.27 % de proteína, 0.25 % de grasa. El cultivar 705162 tiene el más alto contenido de proteína con 0.31 % y el 706424 para contenido de grasa con 0.38 %.

Tabla 9- Contenido de humedad, proteína y grasa en almidones en estudio (bs).

Número CIP	Nombre del cultivar	Humedad %	Proteína %	Grasa %
703510	Amarilla	14,24	0,27	0,14
701570	Chaucha	13,79	0,24	0,12
706767	Churilla Brote Blanco	14,70	0,23	0,37
706824	Chaucha	14,03	0,25	0,38
703325	CPY-143-1	14,37	0,21	0,15
705197	Desconocido	13,65	0,3	0,16
705162	Desconocido	14,95	0,31	0,19
705167	Desconocido	14,30	0,25	0,24

Lund (1984) menciona que cantidades pequeñas de proteína (0.5 %) y de grasa (1 %) es un buen indicador de la pureza del almidón, valores por encima de lo mencionado podrían tener influencia en la temperatura de gelatinización y determinación de amilosa debido a la formación del complejo amilosa-lípido. Altos contenidos de lípidos requieren altas temperaturas de gelatinización influyendo además en sabores extraños, alta turbidez y baja viscosidad en la pasta de almidones (Mishra y Rai 2006).

Los resultados encontrados en esta investigación están por debajo del 0.5 % de proteína y menores a 1 % de lípidos, esto significa que los almidones podrían ser usados en diferentes industrias, ya que no ocasionaran modificaciones significativas en las aplicaciones.

Investigaciones anteriores reportan 0.02 - 0.14 % de proteína y 0.06 - 0.32 % de grasa en almidones (Vasanthan y otros 1999). Zaidul y otros (2007) indican, que no encontraron grasa en los almidones de papa y valores menores de 0.1 % para el contenido de proteína, mientras que para los almidones de trigo se reportan 13.2 % de proteína y 1.4 % de grasa. Jiménez y otros (2007) reportaron 0.20 % de proteína en

almidón de papa y 0.50 % para el almidón de maíz, en cuanto a los contenidos de lípidos reportan 0.18 % y 0.68 % en almidón de papa y maíz respectivamente. Mishra y Rai (2006) reportan 0.61 % y 1.21 % de proteína y 0.32 % y 1.22 % de grasa para almidones de papa y maíz, respectivamente.

4.3.2 Características morfológicas.

4.3.2.1 Distribución del tamaño de los gránulos.

La distribución de tamaño de gránulo de los almidones aislados en los diferentes cultivares en estudio se observan en la figura 14, se encuentran en rangos desde muy pequeños $< 20 \mu\text{m}$, medianos $20 - 45 \mu\text{m}$ y grandes $> 45 \mu\text{m}$, donde la mayor cantidad de gránulos pequeños con respecto al eje mayor se encontraron en los cultivares 703546, 703510 y Perricholi con 37.0, 30.8 y 27.5 %, respectivamente. Las muestras con menor contenido de gránulos pequeños son los cultivares 705816 y Canchan con 2.3, y 0.2 % respectivamente. Los cultivares 704227, 705167 y 703570 mostraron la mayor uniformidad en tamaño con 91.0, 73.3, 70.7 % de gránulos medianos. Los gránulos grandes se encontraron en mayor proporción en la variedad Canchan con 75.7 %, seguido por el almidón importado con 52.8 %, los cultivares phureja 705816 y 705154 mostraron 31.7 y 30.7 % respectivamente. El tamaño de los almidones de las muestras testigo: maíz y camote no fueron tomadas en esta investigación por que poseen características polimorfas; investigaciones anteriores reportan que el maíz tiene un rango de $1-20 \mu\text{m}$ (Singh y otros 2003), de $10 - 20 \mu\text{m}$ (García y otros 2006), de $7 - 28 \mu\text{m}$ (Jiménez y otros 2007), de $3 - 20 \mu\text{m}$ (Acevedo y otros 2005). El camote tienen un rango de $8.58 - 11.0 \mu\text{m}$ según (Noda y otros 1992) y de $2 - 26 \mu\text{m}$ según (Noda y otros 2001).

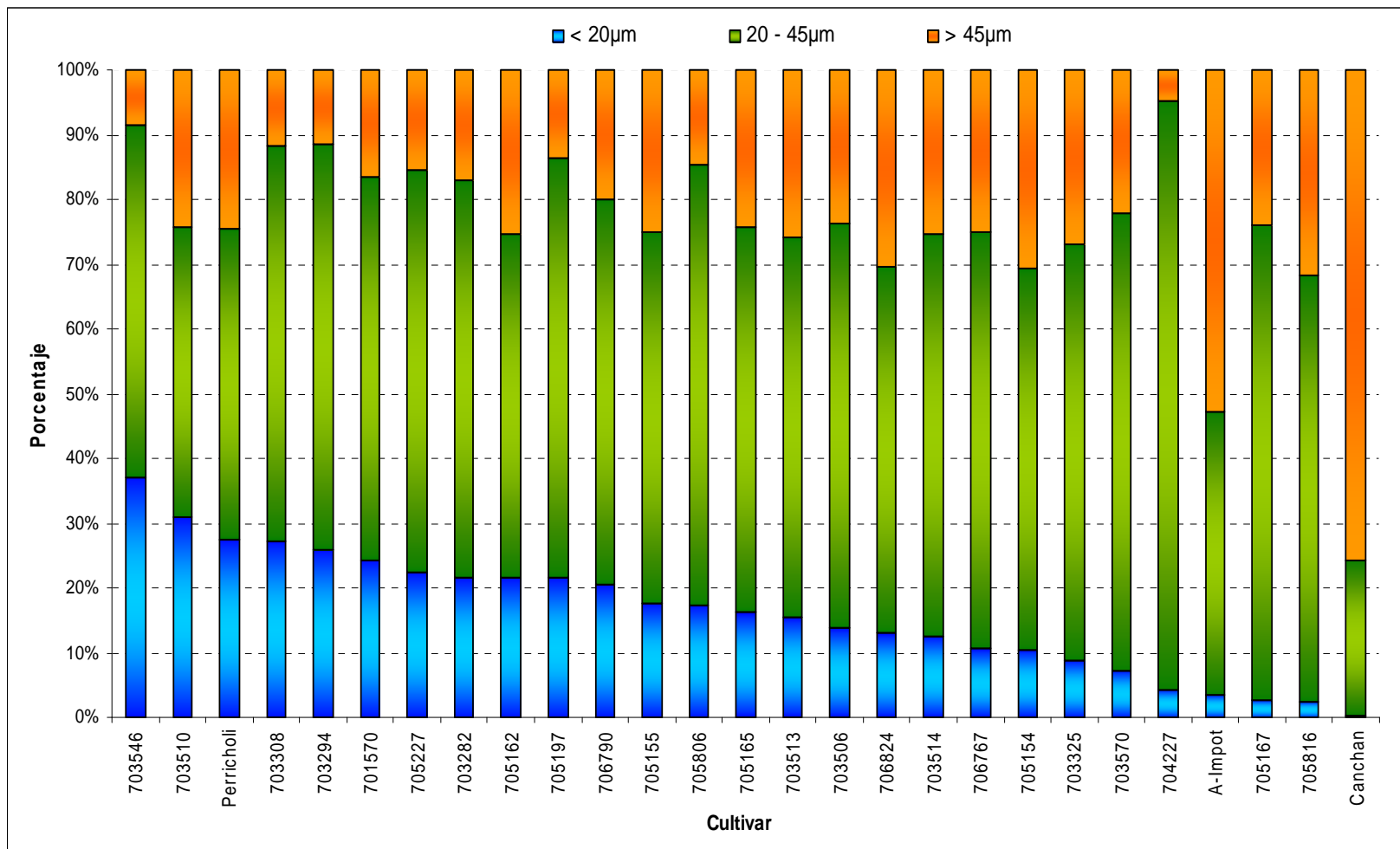


Figura 14 - Distribución de tamaño con respecto al eje mayor de los gránulos de almidón en estudio

Santacruz (1995) afirma que los gránulos de achira son los más grandes encontrados con 42.70 μm en el eje mayor y contrastan con otros como el de papa con 30.9 μm en el eje mayor, yuca con 15 μm , oca con 30.8 μm y mashua con 20.8 μm . En este estudio se encontró que el promedio del eje mayor de los gránulos de almidón se encuentra en un rango de 14.50 μm - 59.75 μm para el grupo de las phurejas, sin embargo, para el grupo de las variedades mejoradas y almidón importado, estos rangos son mayores, presentando entre 16.46 - 69.52 μm .

El tamaño de los gránulos de almidón sugieren algunas aplicaciones posibles, por ejemplo, los más pequeños podrían ser usados en la producción de cosméticos debido a su alta capacidad de absorción de agua y también como agente encapsulante de olores, colorante y esencias (Paredes y otros 1989), en la elaboración de cremas dérmicas como sustitutos de grasa (Jane 1992). En la producción de phosphoril-oligosacaridos (Noda y otros 2005). También son más digeribles que los gránulos grandes debido a que tienen una superficie mayor y se digiere más rápidamente por la enzima glucoamilasa (Noda y otros 2005; Yuan y otros 2007).

La variabilidad, en la distribución del tamaño de los gránulos, está relacionada a la variabilidad genética de los cultivares (Acevedo y otros 2005; Singh y otros 2007; Singh y otros 2008; Jiménez y otros 2007), tiempo de crecimiento y maduración de los tubérculos (Liu y otros 2003; Kaur y otros 2007), tamaño de las estructuras del almidón (Hoover 2001; Singh y otros 2003; Zihua y Jay 2007), condiciones ambientales (Noda y otros 2001). La variación de temperaturas de crecimiento de la planta están asociadas a una variación en las propiedades térmicas y tamaños de gránulo.

En la figura 15 se muestra un agrupamiento de cluster para la distribución del tamaño de los gránulos por área, donde se puede observar claramente que los gránulos de los almidones del grupo phureja son generalmente de tamaño mediano. Sin embargo el

tamaños de los gránulos de almidón de las variedades phureja tienen tamaños mayores con respecto a otras fuentes de almidón como maíz y camote.

4.3.2.2 Morfología de los gránulos.

Los gránulos observados en este estudio mostraron en general superficies uniformes con muy pocas protuberancias y sin ningún daño mecánico como se puede observar en la figura 16. Los gránulos pequeños mostraron formas redondeadas ligeramente ovaladas. Esto se puede observar con mayor claridad en los cultivares 703510, 703570, 703308 y los gránulos medianos mostraron casi en su totalidad formas ovaladas y con superficies lisas, como se pueden observar, con mayor frecuencia en las microfotografías de almidones en los cultivares 704227, 705197, 705806. Los gránulos grandes mostraron formas irregulares desde ovaladas, elipsoidales y cuboides con protuberancias notorias formadas por los anillos concéntricos, encontrándose el mayor porcentaje de estas formas en almidones de la variedad Canchan, almidón importado de papa y el cultivar 705154, las muestras de camote mostraron formas esféricas e irregulares y el almidón de maíz mostró formas poliédricas.

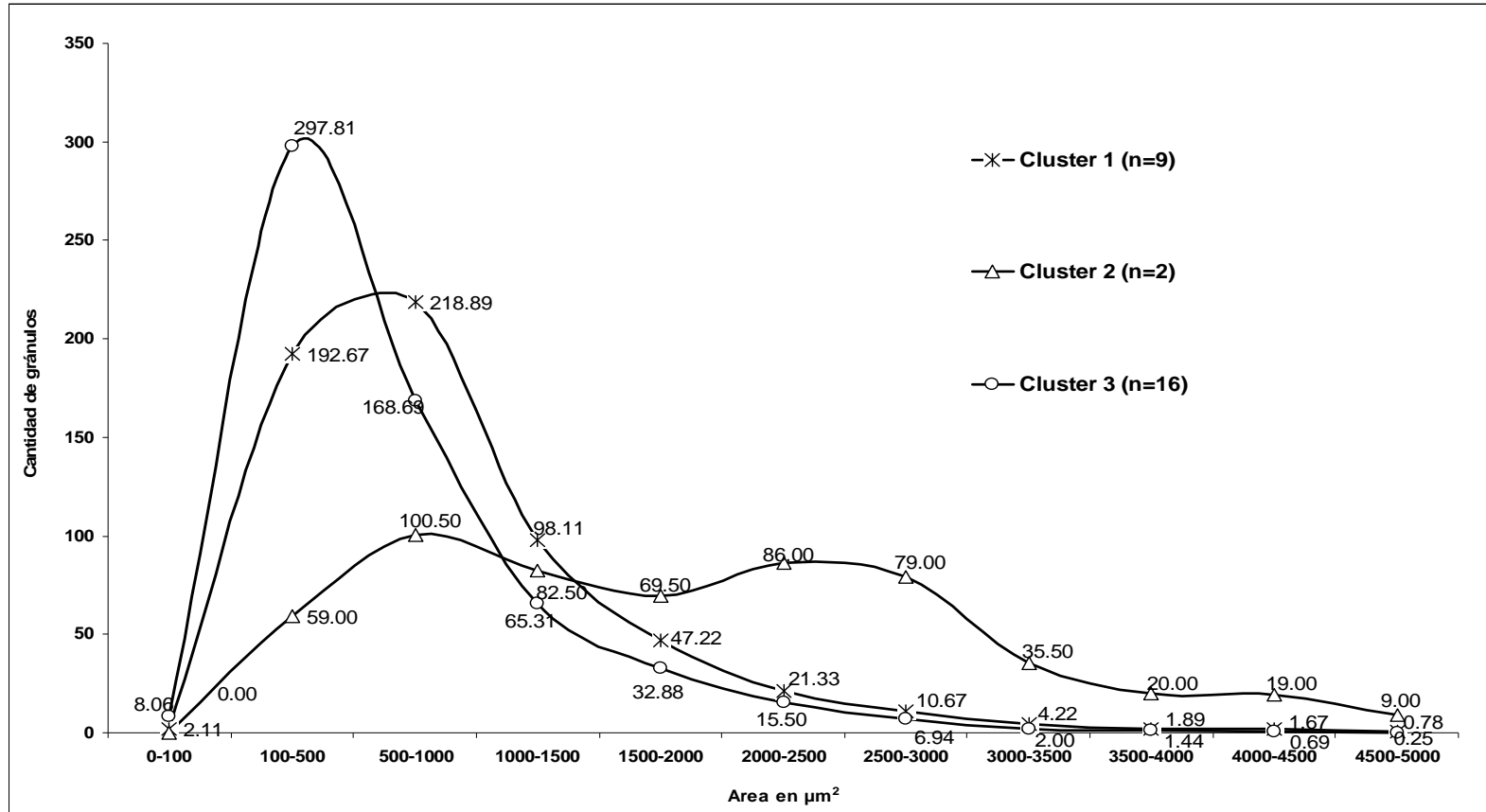


Figura 15- Distribución de los almidones gránulos con respecto al area de gránulos en algunas muestras representativas.

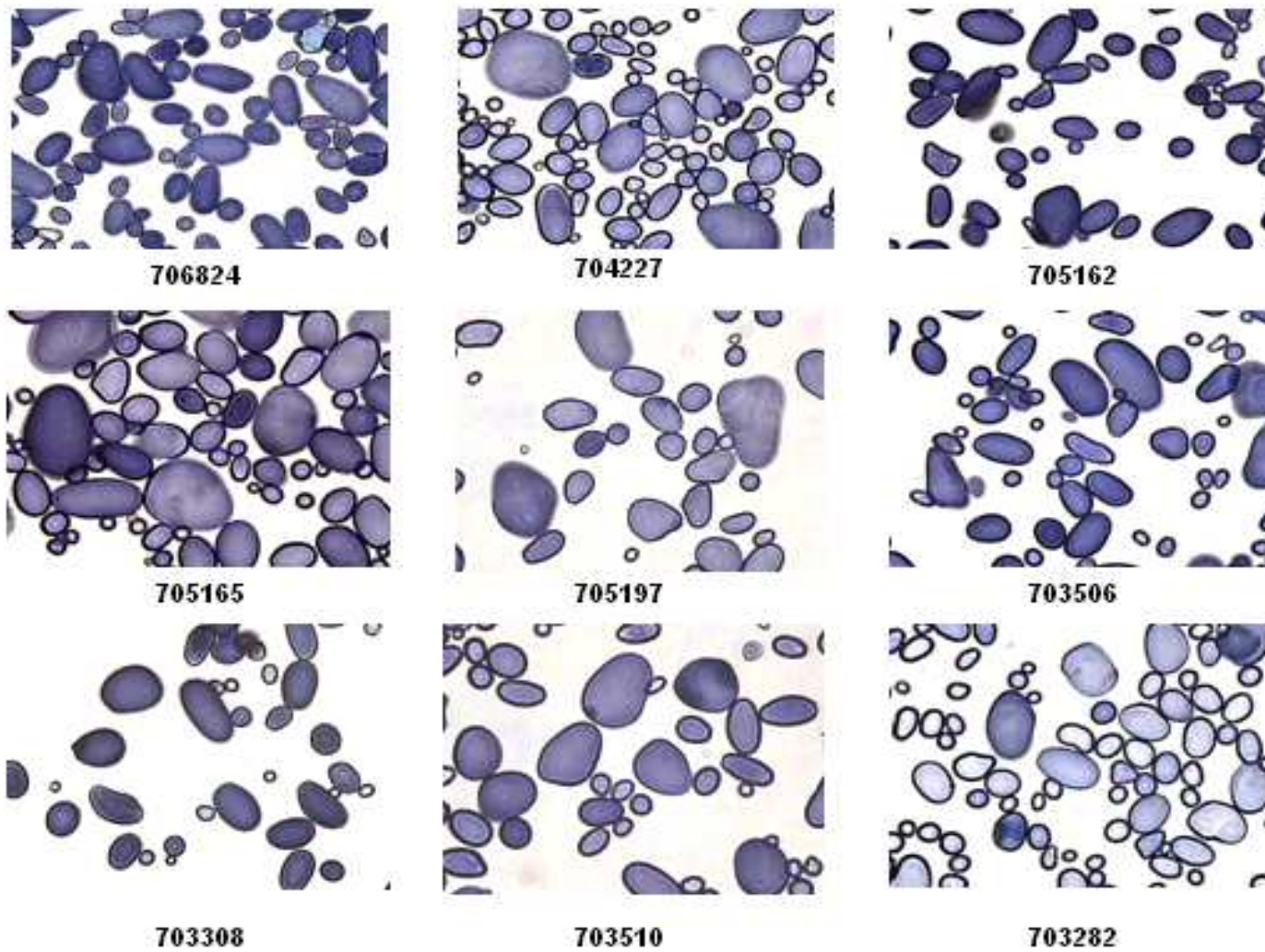


Figura 16 - Microfotografías mostrando la morfología de los gránulos de almidón.

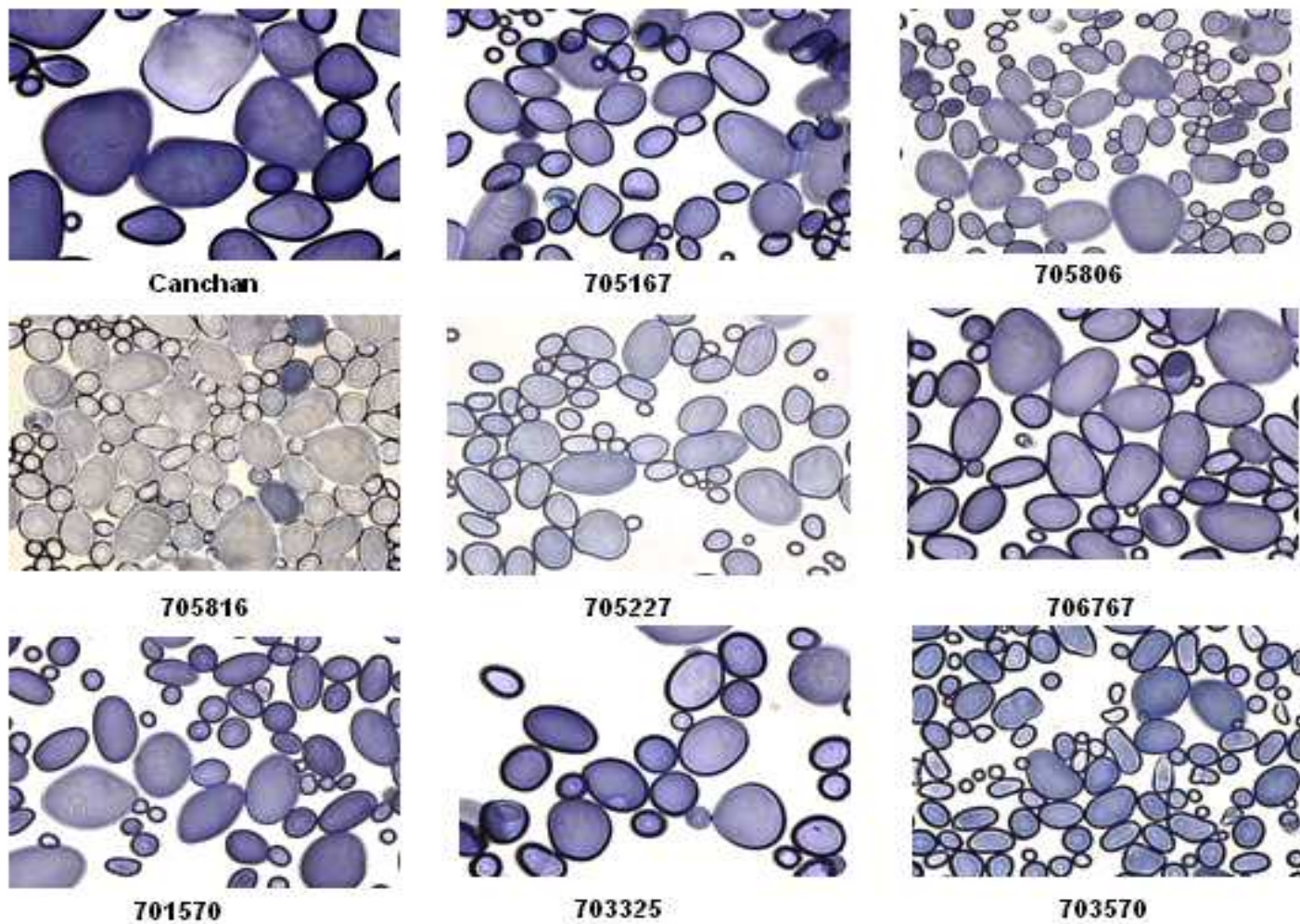


Figura 16 - Microfotografías mostrando la morfología de los gránulos de almidón (continuación).

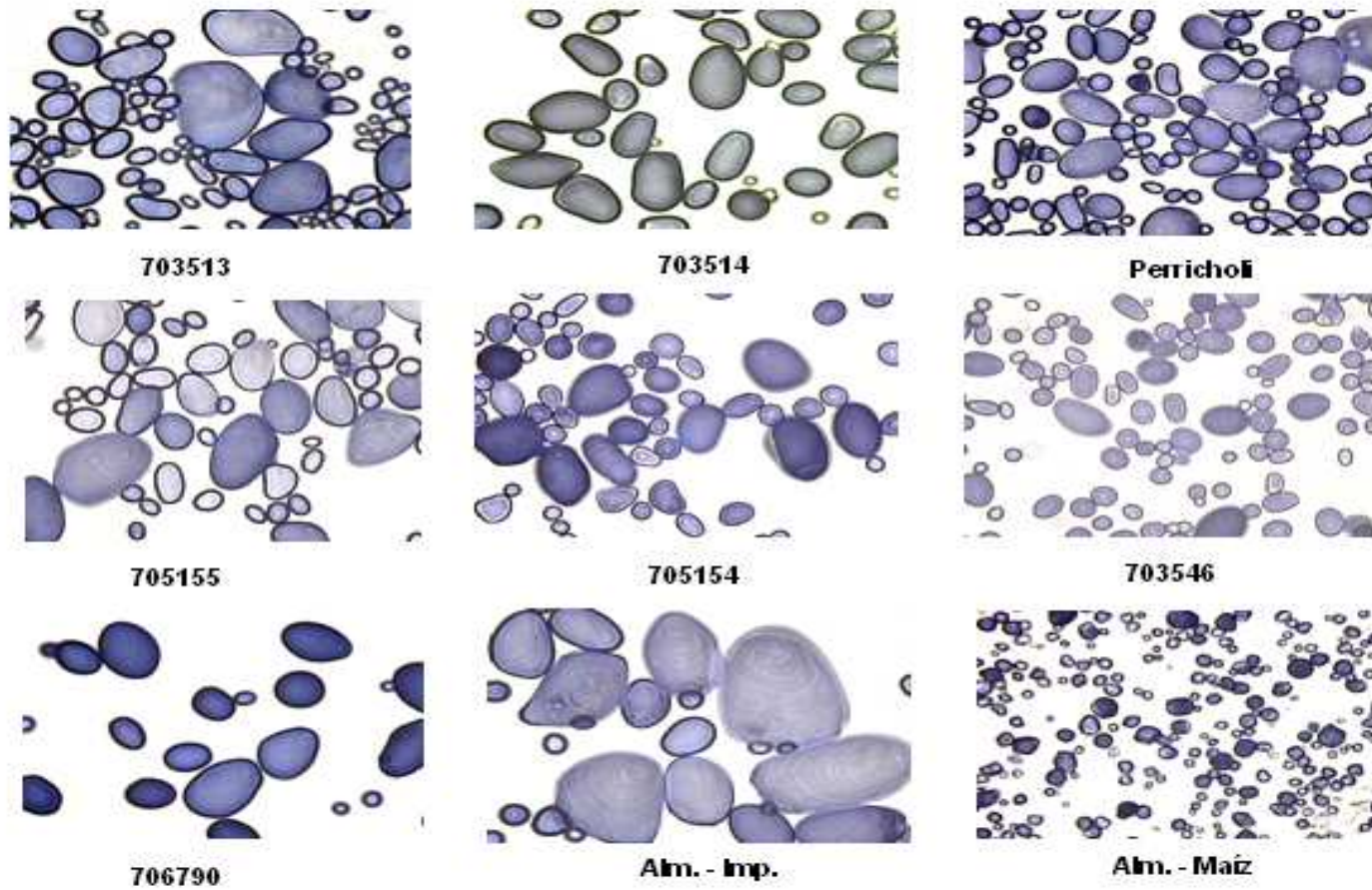


Figura 16 - Microfotografías mostrando la morfología de los gránulos de almidón (continuación).

Las diversas formas de los gránulos podrían influir en algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales como los comportamientos reológicos y texturales de nuevos productos ya que el empaquetamiento de ellos son diferentes y los espacios vacíos pueden ser variados, como es mencionado por García y otros (2006).

Esta investigación reafirma lo encontrado anteriormente, donde Kaur y otros (2002) mencionan que la forma de los gránulos de almidón en tubérculos de papa tienen superficies lisas con formas ovales, años después Singh y otros (2007 y 2008); Jiménez y otros (2007); Yuan y otros (2007); Kaur y otros (2007) mencionan que los gránulos pequeños muestran formas ovales y los gránulos grandes muestran formas irregulares o cuboides.

Por otro lado, Lindeboom y otros (2004) afirman que los responsables para determinar el tamaño de partícula o morfología a los gránulos durante el desarrollo, son las membranas y características físicas de los plastidios. A su vez, Badenhuizen (1969) y Kaur y otros (2002) mencionan que la diferencia en la morfología granular pueden ser atribuidos al origen biológico, bioquímico de los amiloplastos y fisiología de la planta. En consecuencia algunos autores consideran que la morfología de los gránulos de almidón es utilizada como criterio taxonómico para identificar la fuente vegetal de este polisacárido (Ungent y Ochoa 2006; Jiménez y otros 2007).

Los reportes de varios investigadores señalan que, los gránulos grandes en almidones de maíz tienen mayor contenido de amilosa (Jane y Shen 1993), Kaur y otros (2007) corrobora este resultado en almidones de papa. Sin embargo, Yuan y otros (2007) reportan el alto contenido de amilosa para los gránulos pequeños en almidones de *Dioscorea nipponica*. Chen y otros (2003), no encuentran diferencias significativas del contenido de amilosa en los gránulos grandes y pequeños en almidones de papa y camote.

4.3.3 Características fisicoquímicas.

4.3.3.1 Contenido de Amilosa.

El contenido de amilosa en el almidón de papa fue determinado por colorimetría, y la figura 17 muestra que los datos tienen una distribución normal. El análisis de variancia del contenido de amilosa de 29 cultivares donde se incluyen las muestras testigo se muestran en la tabla 10. De acuerdo al ANVA, existe diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.01$) en los contenidos de amilosa en todo el grupo en estudio, sin embargo existen grupos donde no se muestran diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Duncan (Anexo 4).

Tabla 10- Análisis de variancia del contenido de amilosa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	28	1499,5	53,6	18,61	<.0001
Error	58	166,9	2,9		
Total	86	1666,4			

Promedio	37,78
C.V	4,49
R ²	0,90

En la Figura 18 se observa que los cultivares del grupo phureja 705227, 705162, 703294, 703513 muestran los más altos valores en contenido de amilosa con 43.26, 42.20, 41.89 y 41.58 % respectivamente, y los cultivares con bajos contenidos de amilosa son la 705806 y 705816 con 29.97 y 30.09 % respectivamente. Las muestras testigo, almidón de maíz y de camote tienen contenidos bajos frente a las otras muestras, con un 28.36 y 29.89 % respectivamente.

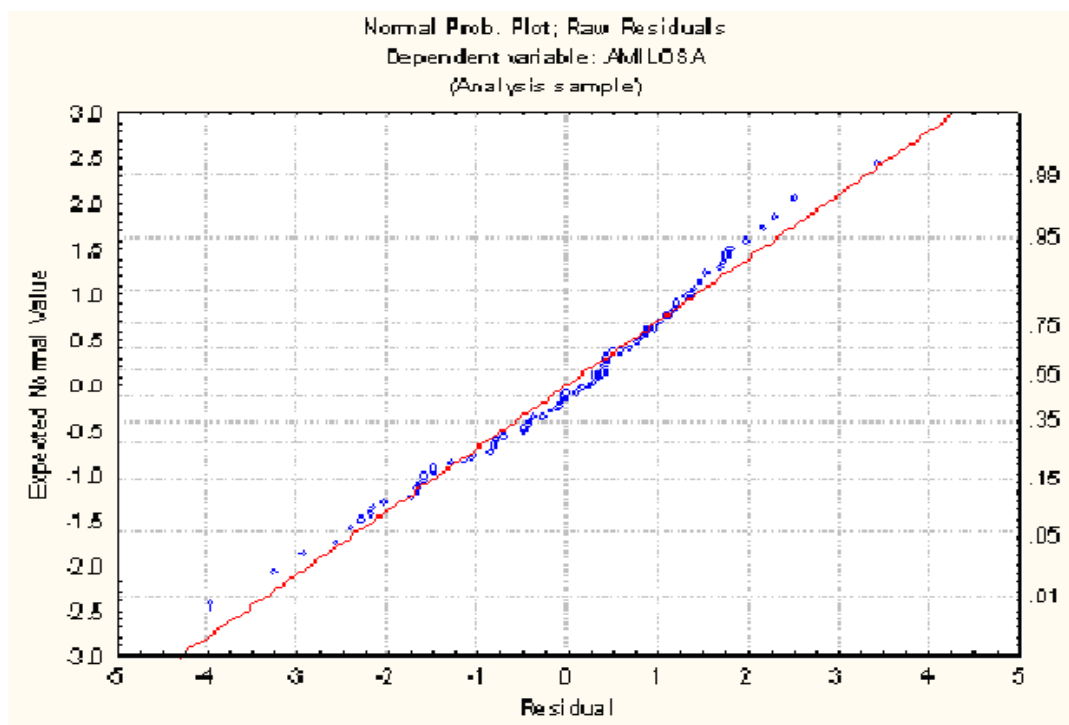


Figura 17 - Distribución normal del contenido de amilosa

Es interesante señalar que el almidón importado de papa tiene un alto contenido de amilosa con 40.52 %, del mismo modo las variedades mejoradas Canchan y Perricholi muestran contenidos altos de amilosa 38.83 y 38.24 % respectivamente, como se puede observar en la figura 18.

El contenido de amilosa en las muestras en estudio tienen valores por encima de lo reportado por otros investigadores en variedades mejoradas, por lo que se procedió a realizar un segundo análisis con la metodología propuesta por McGrance y otros (1998) (Anexo 4). Mediante una prueba de t se pudo determinar que no existen diferencias significativas entre los dos métodos de determinación de amilosa a diferencia de 3 cultivares como se puede observar en la tabla 11.

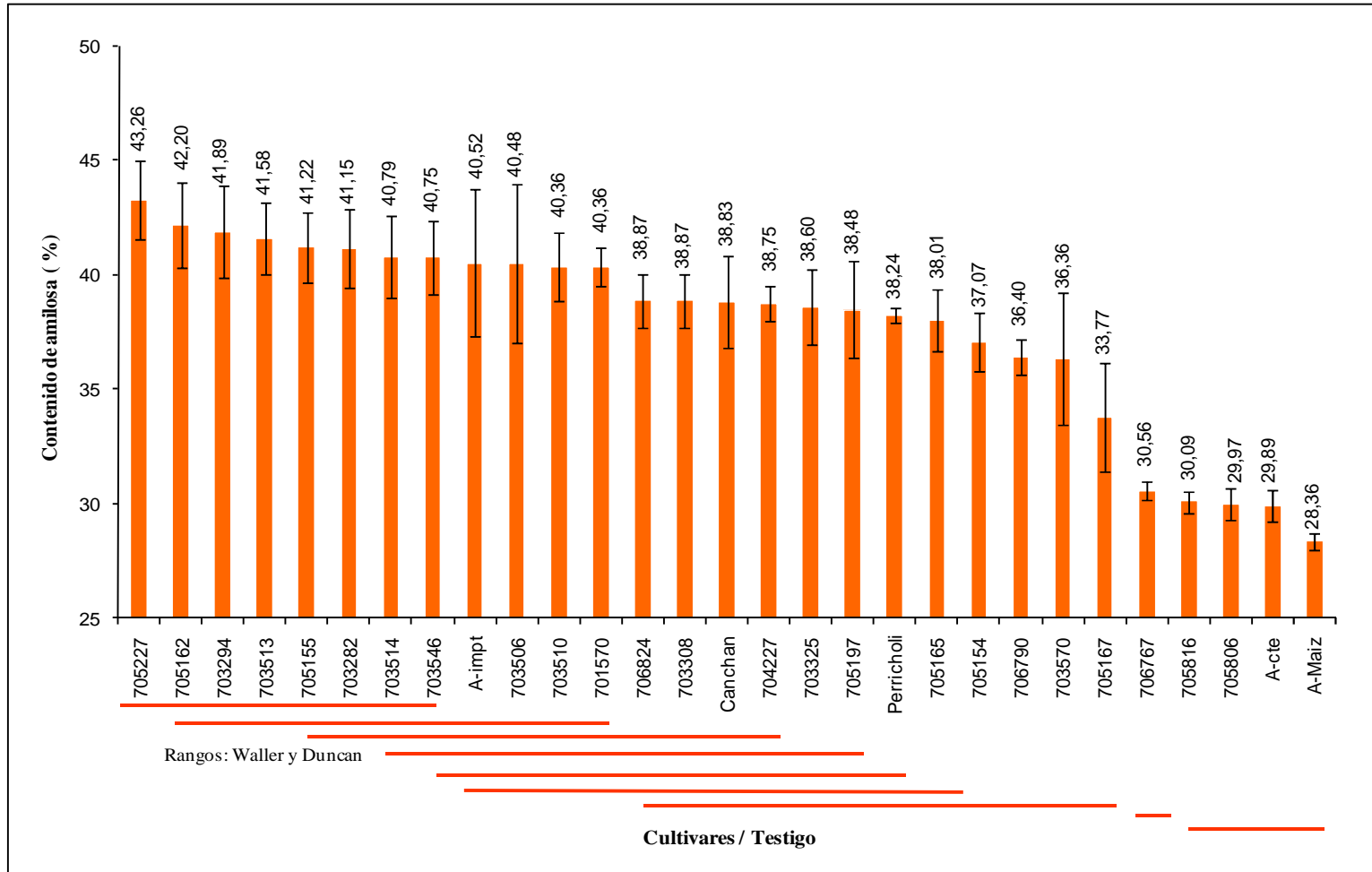


Figura 18- Contenido de amilosa en almidones de los cultivares del grupo *Solanum phureja* y muestras testigo.

Tabla 11- Determinación del contenido de amilosa (%) mediante 2 metodologías.

Número CIP	Método		p<00.1
	ISO 6647	DMSO	
705227	43,26	42,77	ns
705162	42,16	38,33	ns
701570	40,36	35,36	**
703308	38,87	36	ns
380389.1	38,83	37,85	ns
705197	38,48	36,34	ns
706767	30,56	32,22	ns
705806	29,97	26,05	**
Maíz	29,89	21,3	**
Alm - Import	40,52	37,32	ns
374080.5	38,24	39,94	ns

ns: No significativo.

A partir de los resultados mostrados en la figura 18 se puede afirmar que los contenidos de amilosa en papas del grupo *Solanum phureja* son altos, por consiguiente, estas muestras podrían mostrar una alta viscosidad y alta retrogradación, a la vez se confirma que los gránulos grandes tienen mayor contenido de amilosa. Sin embargo, Noda y otros (2004) mencionan que los almidones con bajos contenidos de amilosa muestran picos altos de viscosidad, pero también afirman, que no encontraron correlación entre la viscosidad y el contenido de amilosa en almidones de papa. Wiesenborn y otros (1994), Ganga y Corke (1999) también mencionan que no encontraron correlación del contenido de amilosa con los picos de viscosidad en 44 y 24 almidones de papa respectivamente.

En la tabla 12 se muestran variaciones del contenido de amilosa basada en investigaciones anteriores y comparadas a los almidones del grupo phureja y cultivares mejorados.

Tabla 12 - Comparación de resultados del contenido de amilosa.

Contenido de almidón	Variedad	Referencias
25.2 - 31.2	<i>Solanum tuberosum</i>	Kaur y otros (2002)
24.7 - 36.2	<i>Solanum tuberosum</i>	Hurtado (1997)
29.7	Comercial	McGrance y otros (1998)
29.3	Comercial	Yuang y otros (2007)
36.4	706790	Muestra en estudio
36.36	703570	Muestra en estudio
38.24	Perricholi	Muestra Testigo
38.83	Canchan	Muestra Testigo

La variabilidad del contenido de amilosa, puede estar influenciado por la constitución genética, así como otros factores como: La fuente botánica (Singh y otros 2003; Kaur y otros 2002); condiciones climáticas durante el tiempo de crecimiento de las plantas (Krossmann y Lloyd 2000; Sugimoto 1995; Noda y otros 2001; Singh y otros 2003); temperatura del suelo (Krossmann y Lloyd 2000); las diversas actividades enzimáticas involucradas en la biosíntesis del componente lineal y ramificado (Noda y otros 1997; Noda y otros 2001); el método de extracción y determinación (Kim y otros 1995) y la variación en el tamaño de los gránulos (Kaur y otros 2002).

Esta variabilidad del contenido de amilosa influye en las propiedades fisicoquímicas del almidón y sus posibles usos. Los almidones con alto contenido de amilosa se degradan lentamente, mientras que los de bajo contenidos se degradan más rápido (Cone y otros 1990). El comportamiento de retrogradación es afectada por el alto contenido de amilosa y la longitud de las cadenas de amilopectina, los cuales aceleran este proceso en los productos de aplicación (Biliaderis 1991; Yuan y otros 1993), afectando la textura y digestibilidad de los productos elaborados. Sin embargo un efecto benéfico de la retrogradación sería la formación de estructuras retrogradadas, las cuales tienen una alta resistencia al ataque enzimático, este almidón resistente puede estar asociado con la prevención del cáncer al colon, disminución del colesterol

y glucosa en la sangre, así como de los problemas de obesidad (Asp y Otros 1996; Goñi y otros 1996; Acevédo y otros 2005).

El alto contenido de amilosa confiere una alta resistencia al proceso de gelificación y consecuentemente a la retrogradación, que puede ser usado como insumo en la industria de fibras, plásticos, envases biodegradables, y por su capacidad de absorción de compuestos orgánicos, puede ser usado en la alimentación humana para aislar sales biliares y otros compuestos nocivos en la digestión.

La amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos cuando una de estas fracciones está en exceso puede traer consigo algunos inconvenientes: esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa pues resulta menos pegajoso (Badui 1999).

4.3.3.2 Hinchamiento y solubilidad de los gránulos de almidón.

La capacidad de hinchamiento y solubilidad de los gránulos de almidón fueron evaluadas en un intervalo de temperaturas de 60 - 90 °C en el cual se demostró que el hinchamiento de los gránulos se incrementa a medida que la temperatura aumenta. Se encontraron rangos de 2.8 - 18.3 g/g para 60 °C, 6.4 - 23.9 g/g para 70 °C, 10.5 - 30.1 g/g para 80 °C, y de 10.1 - 38.5 g/g para 90°C.

En las tablas 13 y 14 se muestran los resultados de hinchamiento y solubilidad para cada una de las muestras en estudio a diferentes temperaturas, la gran mayoría de las muestras en estudio reportan el máximo hinchamiento a la temperatura de 90 °C y la mayoría presenta la solubilidad a la misma temperatura. Los almidones de los cultivares 706767, 705816, Canchan y el almidón importado mostraron el mayor

hinchamiento a 90 °C con valores de 35.2, 31.3, 30.1, 38.5 g/g respectivamente, mientras que las muestras testigo muestran valores de hinchamiento mas bajos, los almidones de maíz y camote con 10.1 y 14.2 g/g respectivamente. Para solubilidad los almidones de los cultivares 703506, Perricholi y de maíz mostraron los valores más altos de solubilidad con 31.7, 37.61 y 36.2 g/g respectivamente.

En la figura 19 se muestra la variación de hinchamiento de los gránulos de almidón frente a la temperatura, se observan 4 tipos de comportamientos. Un primer tipo con un comportamiento casi lineal pero que muestran un aparente descenso y estancamiento de hinchamiento a los 90°C. El tipo 2 muestra una tendencia lineal creciente al cambio de temperatura. El tipo 3 muestra, un comportamiento con dos etapas, en la cual se aprecia que después de alcanzar un hinchamiento aparentemente máximo a 70 °C experimentan un descenso para luego volver ascender desde los 80 °C hasta los 90 °C. Esto indica la presencia de dos tipos de fuerzas asociativas en los gránulos de almidón que se relajan a diferentes niveles de temperaturas (Singh y otros 2007, Lu y otros 2008). Un cuarto tipo muestra los hinchamientos más bajos presentando una tendencia lineal frente a la variación de temperatura, este tipo esta conformado por los almidones testigos maíz y camote. Los cultivares phurejas muestran comportamientos variados de tipo 1 y 3, sin embargo la gran mayoría de estos cultivares se encuentran dentro del tipo 1.

En la figura 20, se observa el comportamiento ampliamente variable para solubilidad y al igual que para el hinchamiento se muestran 4 tipos diferentes de comportamiento, un primer tipo muestra una tendencia lineal hasta los 90 °C, un segundo tipo en el que se aprecia una tendencia sinuosa con un incremento rápido de solubilidad hasta los 70 °C para luego experimentar un estancamiento o ligero descenso a medida que aumenta la temperatura, un tercer tipo muestra una tendencia creciente hasta los 80 °C para luego sufrir un ligero estancamiento y un aparente descenso de la solubilidad a medida que aumenta la temperatura.

Tabla 13 - Capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón (g/g.)

Número CIP	Nombre del cultivar	Temperaturas			
		60°C	70°C	80°C	90°C
701570	Chaucha	4.68 ± 0.04 ^{pq}	15.11 ± 0.19 ^{jkl}	21.13 ± 0.72 ^{gh}	23.02 ± 0.44 ^{ij}
703282	Ishco Puro	5.60 ± 0.61 ^{lmn}	15.56 ± 0.09 ^{hij}	20.03 ± 0.19 ^{jkl}	19.81 ± 0.42 ^m
703294	Desconocido	3.83 ± 0.25 ^r	12.71 ± 0.33 ^m	19.03 ± 0.80 ^m	20.44 ± 0.64 ^{lm}
703308	Chaucha Curilla Redonda	9.99 ± 0.17 ^{de}	17.27 ± 0.61 ^g	21.06 ± 0.35 ^{gh}	23.34 ± 0.59 ^{hi}
703325	CPY-143-1	8.43 ± 0.45 ^f	15.57 ± 0.40 ^{hij}	21.49 ± 0.46 ^g	21.10 ± 0.58 ^l
703506	Papa Ibia Rosada	4.24 ± 0.56 ^{qr}	20.68 ± 0.59 ^{cd}	20.93 ± 0.13 ^{ghi}	26.53 ± 0.45 ^e
703510	Amarilla	4.69 ± 0.31 ^{pq}	14.46 ± 0.56 ^l	22.64 ± 0.42 ^{ef}	22.52 ± 0.34 ^{jk}
703513	Desconocido	4.91 ± 0.55 ^{op}	19.52 ± 0.02 ^e	20.29 ± 0.35 ^{ijk}	22.49 ± 0.37 ^{jk}
703514	Desconocido	4.93 ± 0.10 ^{nop}	19.48 ± 0.01 ^e	18.04 ± 0.53 ⁿ	20.00 ± 0.71 ^m
703546	Argentina Blanca	5.31 ± 0.62 ^{mnop}	19.82 ± 0.06 ^e	21.19 ± 0.28 ^{gh}	22.95 ± 0.42 ^{ij}
703570	Desconocido	6.16 ± 0.53 ^{kl}	15.08 ± 0.29 ^{jkl}	19.37 ± 0.47 ^{lm}	20.87 ± 0.89 ^l
704227	Ratona	6.86 ± 0.13 ^{ij}	15.82 ± 0.19 ^{hi}	22.38 ± 0.41 ^f	22.49 ± 0.51 ^{jk}
705154	Desconocido	8.16 ± 0.57 ^{fg}	18.28 ± 0.60 ^f	22.29 ± 0.11 ^f	23.95 ± 0.55 ^{gh}
705155	Desconocido	4.67 ± 0.24 ^{pq}	15.38 ± 0.60 ^{ijk}	21.51 ± 0.88 ^g	20.94 ± 0.05 ^l
705162	Desconocido	3.84 ± 0.15 ^r	12.92 ± 0.69 ^m	20.57 ± 0.83 ^{hij}	22.14 ± 0.63 ^k
705165	Desconocido	7.65 ± 1.05 ^{gh}	19.69 ± 0.09 ^e	22.97 ± 0.73 ^{ef}	24.22 ± 0.46 ^{fg}
705167	Desconocido	7.34 ± 0.15 ^{hi}	16.03 ± 0.94 ^{hi}	20.97 ± 0.69 ^{ghi}	22.54 ± 0.62 ^{jk}
705197	Desconocido	5.98 ± 0.57 ^{klm}	14.80 ± 0.78 ^{kl}	23.33 ± 0.86 ^{de}	26.30 ± 0.49 ^e
705227	Hualcala	4.66 ± 0.09 ^{pq}	15.07 ± 0.10 ^{jkl}	19.77 ± 0.55 ^{klm}	23.30 ± 0.17 ^{hi}
705806	Desconocido	9.43 ± 0.16 ^e	18.16 ± 0.13 ^f	24.60 ± 0.20 ^b	24.88 ± 0.25 ^f
705816	Mambera Amarilla	10.57 ± 0.09 ^d	20.12 ± 0.47 ^{de}	30.10 ± 0.54 ^a	31.29 ± 0.49 ^c
706767	Churilla Brote Blanco	18.33 ± 0.67 ^a	23.90 ± 0.43 ^b	30.81 ± 0.55 ^a	35.14 ± 0.52 ^b
706790	Chaucha Amarilla Larga	5.37 ± 0.35 ^{mno}	16.10 ± 0.65 ^h	20.28 ± 0.15 ^{ijk}	24.68 ± 0.53 ^f
706824	Chaucha	6.49 ± 0.67 ^{jk}	17.23 ± 0.47 ^g	23.81 ± 0.32 ^{cd}	26.85 ± 0.57 ^e
Alm - Impo	Alm. Importado	12.82 ± 0.42 ^b	24.59 ± 0.26 ^a	24.19 ± 0.31 ^{bc}	38.48 ± 0.21 ^a
Alm - Camt	Alm. Camote	2.83 ± 0.40 ^s	6.38 ± 0.23 ^o	11.17 ± 0.22 ^o	14.18 ± 0.18 ⁿ
380389.1	Canchan inia	12.13 ± 0.45 ^c	20.96 ± 0.68 ^c	22.60 ± 0.17 ^{ef}	30.11 ± 0.34 ^d
Alm - Maiz	Alm. Maíz	2.98 ± 0.13 ^s	7.74 ± 0.41 ⁿ	10.50 ± 0.99 ^o	10.08 ± 0.08 ^o
374080.5	Perricholi	9.45 ± 0.80 ^e	17.98 ± 0.55 ^f	23.32 ± 0.38 ^{de}	26.15 ± 0.79 ^e

Media de tres muestras ± Desviación estándar.

Diferentes letras muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel $\alpha=0.01$.

Tabla 14 - Porcentaje de solubilidad de los gránulos de almidón.

Número CIP	Nombre del cultivar	Temperatura			
		60°C	70°C	80°C	90°C
701570	Chaucha	2.00 ± 0.86 ^h	6.03 ± 0.03 ^l	15.51 ± 0.82 ⁱ	21.04 ± 0.04 ^{gh}
703282	Ishco Puro	1.51 ± 0.08 ⁱ	18.16 ± 0.04 ^a	17.99 ± 0.18 ^{ef}	15.03 ± 0.10 ^m
703294	Desconocido	1.50 ± 0.01 ⁱ	4.53 ± 0.02 ^m	13.51 ± 0.08 ^l	18.14 ± 0.01 ^k
703308	Chaucha Curilla Redonda	4.02 ± 0.85 ^f	10.51 ± 0.04 ⁱ	16.50 ± 0.12 ^h	19.43 ± 0.04 ^{ij}
703325	CPY-143-1	1.52 ± 0.10 ⁱ	12.59 ± 0.88 ^f	15.05 ± 0.08 ^{jk}	18.18 ± 0.04 ^k
703506	Papa Ibia Rosada	7.52 ± 0.01 ^b	12.09 ± 0.05 ^g	19.71 ± 0.09 ^c	31.73 ± 0.18 ^c
703510	Amarilla	5.99 ± 0.01 ^c	10.59 ± 0.02 ⁱ	21.17 ± 0.05 ^b	15.03 ± 0.10 ^m
703513	Desconocido	4.48 ± 0.03 ^e	14.81 ± 0.13 ^d	14.89 ± 0.08 ^k	16.60 ± 0.06 ^l
703514	Desconocido	5.98 ± 0.10 ^c	11.87 ± 0.02 ^g	17.82 ± 0.03 ^{efg}	16.48 ± 0.04 ^l
703546	Argentina Blanca	5.96 ± 0.03 ^c	13.58 ± 0.03 ^e	15.13 ± 0.03 ^{ijk}	20.96 ± 0.04 ^{gh}
703570	Desconocido	1.50 ± 0.01 ⁱ	13.65 ± 0.01 ^e	16.53 ± 0.13 ^h	10.97 ± 0.82 ^o
704227	Ratona	1.51 ± 0.98 ⁱ	7.53 ± 0.03 ^k	15.60 ± 0.89 ⁱ	18.99 ± 0.98 ^j
705154	Desconocido	2.99 ± 0.10 ^g	15.11 ± 0.01 ^d	18.07 ± 0.16 ^e	18.07 ± 0.10 ^k
705155	Desconocido	1.41 ± 0.20 ⁱ	12.02 ± 0.05 ^g	12.11 ± 0.02 ^m	18.08 ± 0.03 ^k
705162	Desconocido	4.54 ± 0.02 ^e	12.08 ± 0.88 ^g	15.13 ± 0.03 ^{ij}	13.59 ± 0.09 ⁿ
705165	Desconocido	1.51 ± 0.06 ⁱ	12.10 ± 0.05 ^g	10.57 ± 0.02 ⁿ	21.11 ± 0.11 ^g
705167	Desconocido	1.49 ± 0.01 ⁱ	16.61 ± 0.10 ^b	17.51 ± 0.77 ^{fg}	16.57 ± 0.16 ^l
705197	Desconocido	4.00 ± 0.86 ^f	9.02 ± 0.08 ^j	19.66 ± 0.03 ^c	14.97 ± 0.02 ^m
705227	Hualcala	4.39 ± 0.03 ^{ef}	11.91 ± 0.10 ^g	20.79 ± 0.03 ^b	19.45 ± 0.28 ⁱ
705806	Desconocido	1.51 ± 0.09 ⁱ	16.13 ± 0.84 ^c	10.55 ± 0.04 ⁿ	22.71 ± 0.04 ^e
705816	Mambera Amarilla	4.47 ± 0.02 ^e	10.34 ± 0.07 ⁱ	14.72 ± 0.18 ^k	20.92 ± 0.22 ^{gh}
706767	Churilla Brote Blanco	9.96 ± 0.10 ^a	12.70 ± 0.20 ^f	23.46 ± 0.21 ^a	26.13 ± 0.85 ^d
706790	Chaucha Amarilla Larga	2.87 ± 0.22 ^g	11.38 ± 0.38 ^h	17.40 ± 0.68 ^g	20.64 ± 0.09 ^h
706824	Chaucha	5.50 ± 0.42 ^d	4.82 ± 0.29 ^m	19.45 ± 0.38 ^{cd}	22.05 ± 0.22 ^f
Alm - Cam	Alm - Camote	2.99 ± 0.02 ^g	7.53 ± 0.03 ^k	10.59 ± 0.02 ⁿ	18.09 ± 0.12 ^k
Alm - Imp	Alm - Importado	3.00 ± 0.08 ^g	16.11 ± 0.88 ^c	18.13 ± 0.10 ^e	37.61 ± 0.10 ^a
Alm -Maíz	Alm - Maíz	1.51 ± 0.01 ⁱ	6.05 ± 0.01 ^l	7.53 ± 0.08 ^o	19.55 ± 0.10 ^l
380389.1	Canchan inia	6.03 ± 0.03 ^c	10.46 ± 0.06 ⁱ	19.02 ± 0.72 ^d	36.17 ± 0.18 ^b
374080.5	Perricholi	7.37 ± 0.08 ^b	13.32 ± 0.14 ^e	19.46 ± 0.19 ^{cd}	19.33 ± 0.10 ^{ij}

Media de tres muestras ± Desviación estándar.

Diferentes letras muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel $\alpha=0.01$

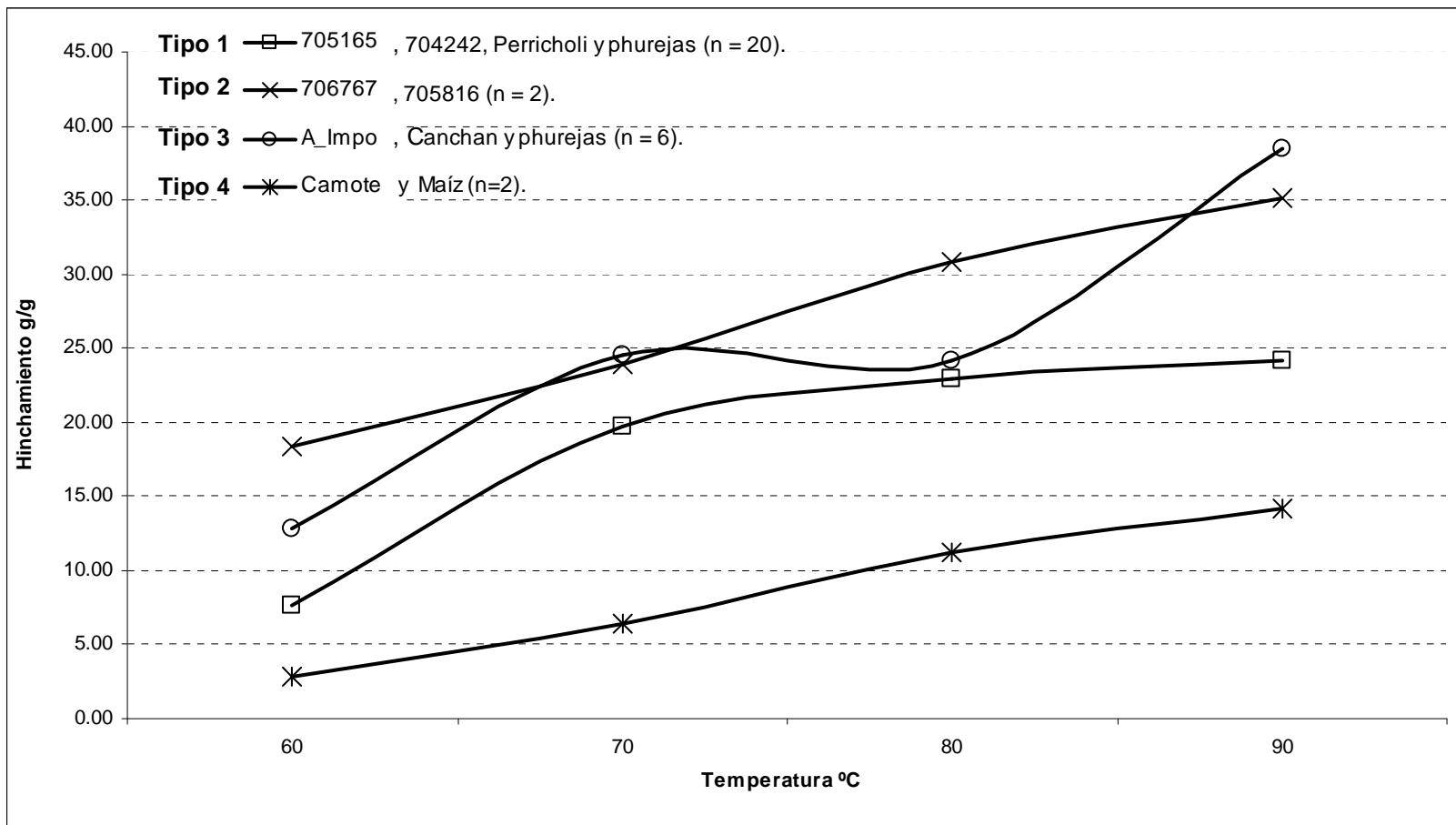


Figura 19 – Grupos de almidón de acuerdo al tipo de comportamiento de hinchamiento de los gránulos de almidón en estudio

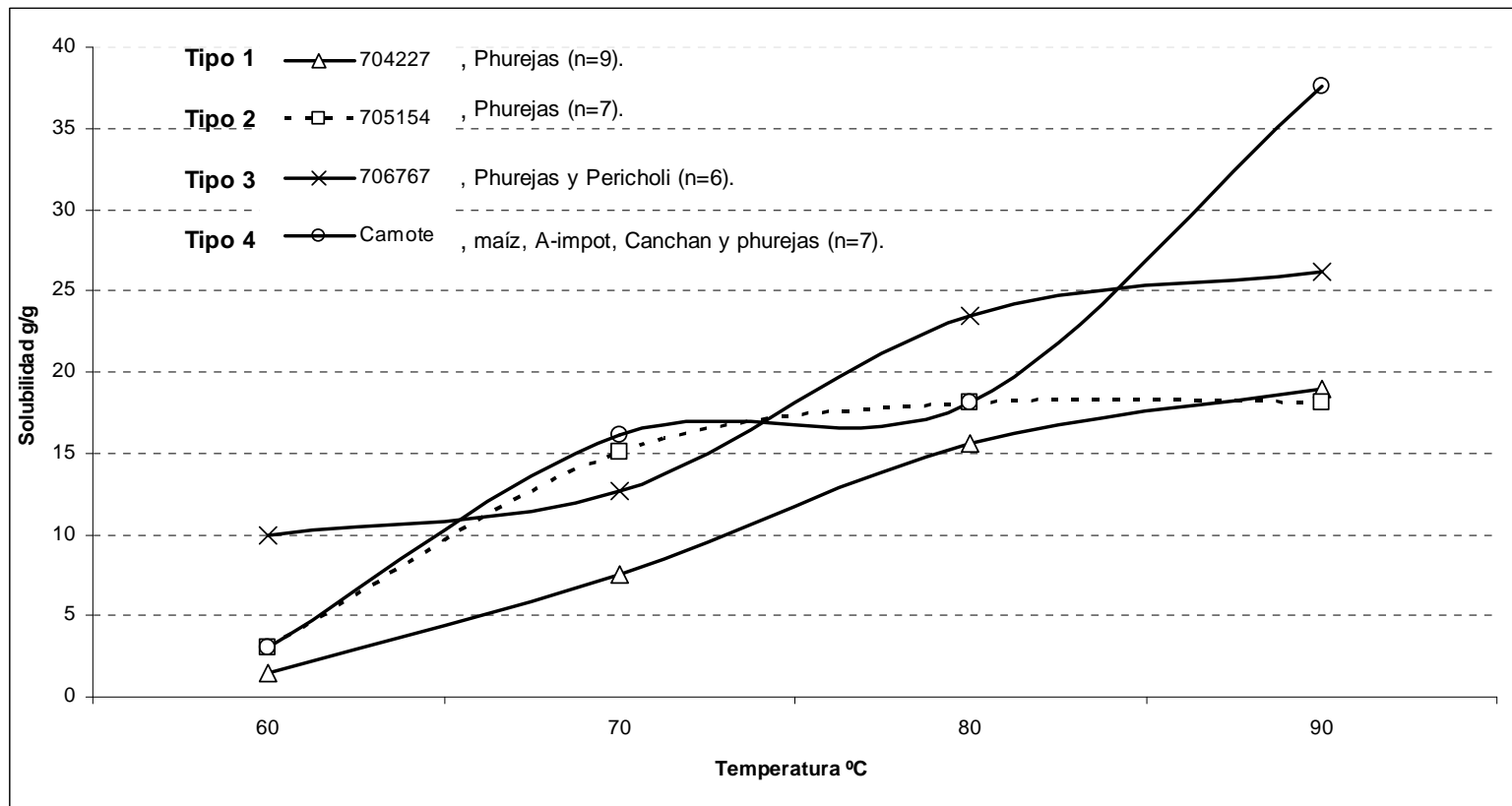


Figura 20 – Grupos de almidón de acuerdo al tipo de comportamiento de solubilidad de los gránulos de almidón en estudio.

El cuarto tipo muestra la solubilidad en dos etapas, en la primera etapa muestra una tendencia creciente hasta los 70 °C, para luego tener un pequeño descenso y luego volver a ascender de 80 a 90 °C, en el cuarto tipo se encuentran los almidones de maíz, camote, Canchan y el almidón importado de papa. Los cultivares phurejas se encuentran en los cuatro tipos de comportamiento mostrando una amplia variabilidad para esta característica.

Las diferencias encontradas en los resultados de este análisis para cada variedad puede deberse a muchos factores como: la variación del contenido de grupos fosfato en las cadenas adyacentes (Singh y otros 2003; Noda y otros 2005; Kaur y otros 2007; Singh y otros 2008; Vasanthan y otros 1999), la variación del contenido de amilosa y amilopectina (Liu y otros 2003; Kaur y otros 2007; Singh y otros 2008; Jane y otros 2007), el contenido del complejo lípido-amilosa (Vasanthan y otros 1999), el tamaño de las cadenas de amilopectina (Yuan y otros 2007), el tamaño y distribución de los gránulos (Kaur y otros 2007; Singh y otros 2008; Vasanthan y otros 1999; Jane y otros 2007), además de la diferencia en los patrones de viscosidad como los niveles de temperaturas, concentración de la muestra, etc y la débil organización interna que son resultados de las cargas negativas del grupo fosfato dentro de los gránulos de almidón de papa (Kaur y otros 2002).

El poder de hinchamiento y la solubilidad de otras fuentes de almidón son bajas a diferencia del almidón de papa. Badui (1999) menciona que el almidón de maíz se hincha mucho menos que los almidones de papa, tapioca, sorgo y cereo. Bello y otros (2002) también reporta que el almidón de maíz tiene un hinchamiento menor a 20 gH₂O/g de muestra seca a la temperatura a 90 °C. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio ya que la capacidad de hinchamiento para las muestras de maíz y camote que usamos como testigo fue de 14.2 y 10.1 g/g respectivamente.

El alto poder de hinchamiento de los gránulos de almidón es un indicador de la estabilidad, resistencia y el fuerte empaquetamiento de los gránulos de almidón frente

a las diferentes temperaturas, también es un indicativo de la resistencia a factores externos como la agitación, bombeo, etc.

La hidratación e hinchamiento del almidón durante el calentamiento refleja la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas. El alto poder de hinchamiento y solubilidad en almidones de papa esta relacionado con el alto contenido de fósforo (Singh y otros 2008). Los cambios del contenido de amilosa y amilopectina, distribución del tamaño de los gránulos y composición del almidón durante el almacenamiento puede tener efectos de extensión de esta interacción, resultando una variación en el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones de cultivares almacenados.

4.3.3.3 Determinación de la viscosidad.

En la figura 21, se muestra la variación de la viscosidad (Índice de consistencia) para las diferentes muestras, estadísticamente significativo con un $p < 0.001$ y coeficiente de variación de 1.3 % como se puede observar en el anexo 6. Los almidones en estudio muestran un índice de consistencia en un rango de 7.9 - 59.4 Pa.s teniendo los más altos valores el almidón importado y los cultivares Canchan, 704227, 705816 y 706767 con 59.4, 48.2, 47.8, 43.9 y 38.7 Pa.s respectivamente, los almidones con índice de consistencia más bajas fueron 705167, 703514 y los almidones testigo camote y maíz con 19.53, 18.9, 10.9, 7.9 Pa.s respectivamente. También, cabe mencionar que se encontro un coeficiente de correlacion de 0.81 con el poder de hinchamiento a 90°C, por lo que podemos mencionar que la resistencia a la temperatura y a los factores externos como agitación o bombeo son altos para los cultivares Canchan, 704227,705816 y 706767.

La viscosidad de las soluciones de almidón disminuyó a medida que la velocidad de corte se incrementa, comportamiento característico de los fluido pseudoplásticos. La figura 22 muestra el comportamiento reológico de las muestras representativas por

mostrar una alta y baja viscosidad. En este grupo podemos observar al grupo *phureja* y las muestras testigo.

La variación de la viscosidad en los geles de almidón pueden ser ocasionados por diversos factores como, el tamaño granular, contenido del fósforo y amilosa (Liu y otros 2003; Noda y otros 2004); la variación genética (Mishra y Rai 2006); factores ambientales (Zaidul y otros 2007; Noda y otros (2004); complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina (Ao y Jane 2007; Noda y otros 2005).

Estos resultados muestran, la utilidad que podría tener el almidón de papa como un agente gelificante en la industria de los alimentos, textil o farmacéutica. Tal es así que los almidones con alta viscosidad final podrían tener posibles usos como un agente espesante en la dispersión de alimentos, donde la alta viscosidad es necesaria (Jiménez y otros 2007). También podría ser utilizado en la preparación de sopas instantáneas, salsas, y una serie de posibles aplicaciones en productos lácteos fermentados (Mishra y Rai 2006). Sin embargo se debe verificar el comportamiento para las diversas aplicaciones, ya que una viscosidad alta, muestra tendencias de retrogradación, factor importante para los almidones usados en productos alimenticios.

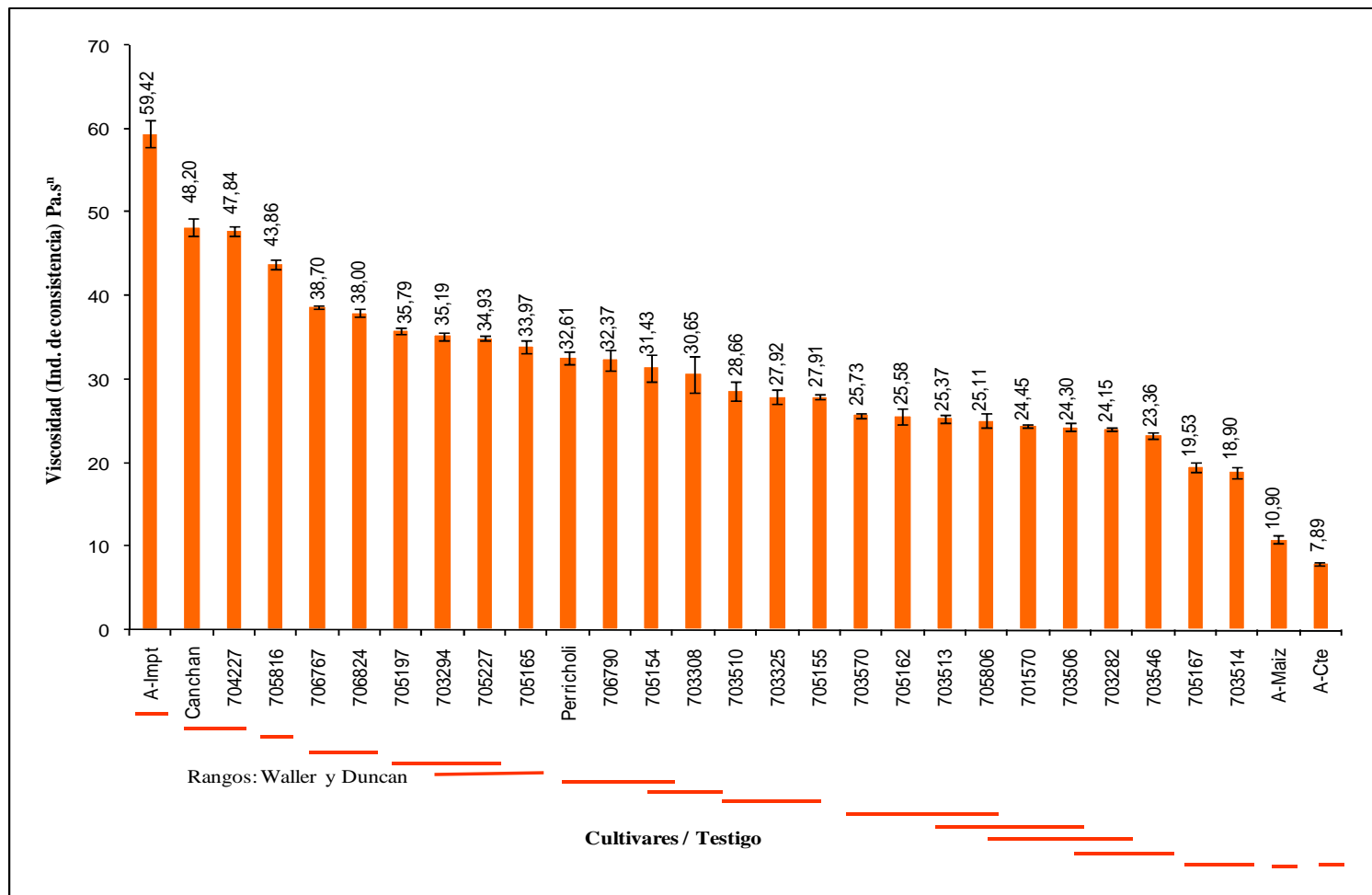


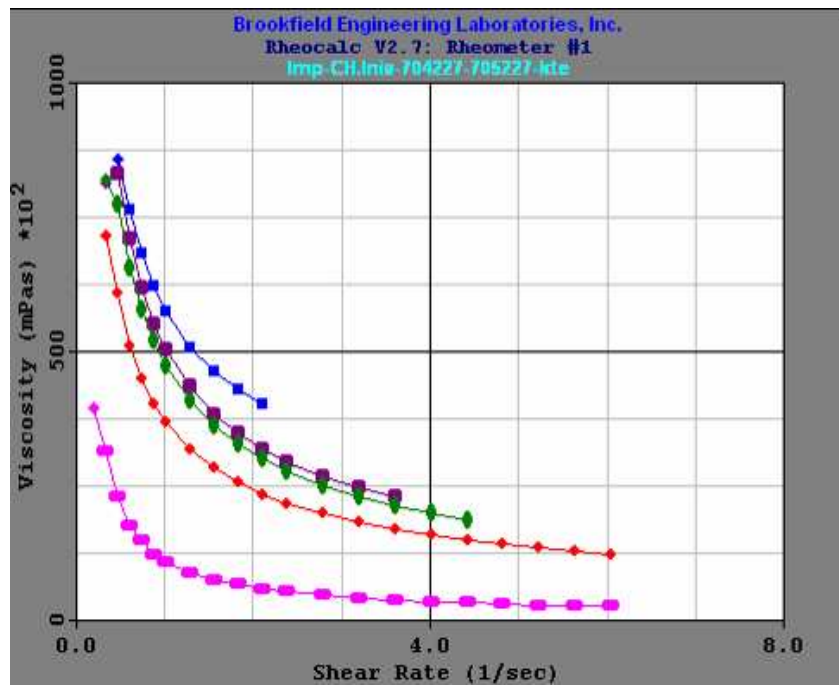
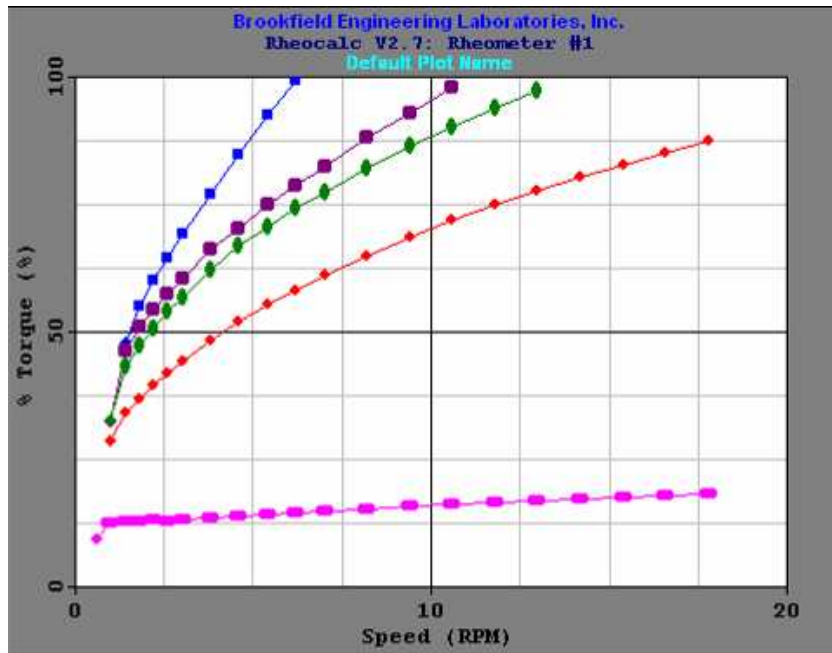
Figura 21 - Variación de la viscosidad para las diferentes muestras en estudio.

Las propiedades de los almidones con alta viscosidad final, limita la aplicación en alimentos almacenados por tiempos largos, sin embargo podrían ser adecuados para productos alimenticios donde la tendencia del grado de retrogradación es requerida.

Es posible, que durante el enfriamiento de las pastas, las moléculas del almidón se reasocian formando cadenas lineales donde predomina la amilosa dando como resultando la estructura de un gel, por consiguiente se incrementa la viscosidad final (Jiménez y otros 2007). Esto concuerda con lo realizado en esta investigación ya que el aumento de la viscosidad en las muestras en estudio se dan a medida que baja la temperatura después de la cocción.

En la etapa de cocción, a 95 °C por 15 minutos, se observó que las muestras están en una fase menos viscosa que a los 25 °C, una disminución en la viscosidad es debido al fenómeno de disociación molecular que sufren los componentes principales del almidón (amilosa y amilopectina). En esta etapa, la amilosa se solubiliza y se libera a la fase acuosa. Durante el enfriamiento a 25 °C, los valores de viscosidad aumentaron debido a que los componentes del almidón presentan una reasociación molecular, la amilosa antes liberada forma mallas tridimensionales provocando que las moléculas de agua se asocien mediante puentes de hidrogeno formando un gel.

La estabilidad de la viscosidad es de gran importancia para el usuario, particularmente donde la pasta debe ser cocida por periodos largos de tiempo o sometidos a la acción de corte de agitación, bombeo o calentamientos a temperaturas de esterilización. Estos tratamientos de rompimiento tiene gran importancia dentro de la industria (Schoch 1957).



■ A-Importado.
 ■ A-Canchan I.
 ■ 704227
 ■ 705227
 ■ A-Camote

Figura 22 - Comportamiento reológico de muestras con alta y baja viscosidad en el grupo de las *S.phurejas* y muestras testigo.

Los cultivares phureja mostraron una amplia variabilidad para esta características encontrando un rango de 18.9 a 47.9 Pa.s. Los resultados obtenido concuerdan con lo reportado por otros autores ya que los almidones de papa con un alto contenido de amilosa y un promedio de tamaño grande de gránulos, mostraron una alta viscosidad frente a los almidones de maíz y camote quienes presentan gránulos pequeños y bajos contenidos de amilosa.

V. Conclusiones.

De acuerdo al análisis proximal, se encontró un rango amplio para el contenido de proteína, de 6.31 - 14.29 % siendo los cultivares phureja 701570, 705162, 705197 que presentaron los valores más altos con 14.3, 14.2, 12.6 % respectivamente, y los cultivares 703510, 704227, 705155 presentaron los contenidos más bajos con 7.1, 6.6 y 6.3% (bs) respectivamente.

El tamaño con respecto al eje mayor y la distribución de los gránulos de almidón se encuentran en un rango amplio desde 6.18 a 102.84 μm . El área de los gránulos, representado por tres clusters, el primero con alto contenido tamaños de 500 a 1000 μm , el segundo de 1000 a 1500 μm y el tercero de 1000 a 3500 μm .

La forma de los gránulos también fue variable, los pequeños mostraron generalmente formas redondeadas, los medianos y grandes mostraron formas elipsoidales, cuboides a irregulares. Los almidones de los cultivares phureja 704227, 705167 y 703570 mostraron la mayor uniformidad tanto en tamaño y forma de almidones, con un 91.0; 73.3 y 70.7 % de almidones de tamaño mediano, respectivamente.

Los almidones de los cultivares phureja tienen en general altos contenidos de amilosa con respecto a la muestras de almidón de maíz y camote. Siendo los más representativos los cultivares 705227, 705162, 703294 con 43.3, 42.2 y 41.9 % respectivamente.

El comportamiento de hinchamiento de los almidones en estudio son variables, mostrando 4 tipos de comportamiento los tipo 2 y 3 mostraron la más alta resistencia al cambio de temperaturas, alcanzando un hinchamiento máximo a 90 °C. Igualmente el comportamiento de solubilidad de los cultivares también se mostraron 4 tipos de comportamiento los tipo 1 y 2, tienen una fuerte integración granular por mostrar una solubilidad menor frente a los demás tipos.

Las soluciones de almidón al 4 % de los cultivares phurejas, presentan un comportamiento reológico de tipo pseudoplástico.

Los valores de índices de consistencia de las soluciones del almidón al 4 % de los cultivares del grupo phureja se encuentra en el rango de 18.9 a 47.8 Pa.s, siendo los cultivares 704227 y 705816 los más representativos por mostrar los valores más altos con 47.8 y 43.8 Pa.s.

A pesar del número relativamente pequeño de cultivares phureja estudiados, muestran que existe una gran variabilidad en las propiedades y características físico químicas de los almidones en este grupo por lo tanto sugieren un campo de aplicación muy diverso en el procesamiento de alimentos y en la industria.

VI. Recomendaciones.

- Continuar con la investigación de las propiedades del almidón en los diferentes germoplasmas de papas nativas, ya que pocas muestras nos han indicado la gran variabilidad existente de tipos de almidón.
- Desarrollar un protocolo adecuado para la extracción de almidón en la cual se tiene que considerar lo siguiente: que los gránulos de almidón se mantengan intactos luego de la extracción, la limpieza de los tubérculos ya que de esta manera podemos tratar de asegurar la pureza del almidón, separar por tamaños los gránulos de almidón para una mejor caracterización, considerar las condiciones de crecimiento y postcosecha de los tubérculos como las condiciones climáticas de crecimiento, tiempo de maduración, tipo de suelo, etc, ya que estos factores intervienen en el comportamiento fisicoquímico de los almidones.
- Comparar el almidón nativo con otros tipos de almidones modificados para observar la variación que pueda haber en las características fisicoquímicas.
- Identificación de variedades de papa con almidones para los distintos usos industriales.

REFERENCIAS

- Acosta H, Villada H, Torres G y Ramírez J. 2006. Morfología Superficial de Almidones Termoplásticos Agrio de Yuca y Nativo de Papa por Microscopía Óptica y de Fuerza Atómica. Información tecnológica. 17-Nº3, 63 -70p.
- Acevedo A, Ottenhof M, Farhat I, Paredes-Lopez, ortíz J, Bello A. 2005. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. Agrociencia 39. 419 – 429.
- Aliaga C. 1990. Obtención y caracterización de almidón pregelatinizado a partir de maca “Lepidium mellen Walp”. [Tesis de título] Lima: Universidad Agraria la Molina. Facultad de Ingeniería de Alimentos.
- Alvares A, Vázquez A. 2003. Relación entre la absorción de agua a cortos tiempos y las propiedades mecánicas de mezclas de almidón/ celulosa modificada y sus compuestos con fibra sisal cortas. Jornadas SAM/ CONAMET- Argentina.
- Anderson P. 2005. Mayo 25. Papas nativas. Procesamiento de papas nativas. El comercio. Economía.
- Ao Z, Jane J. 2007. Characterization and modeling of the A- and B - granule starches of wheat, Triticale, and barley. Carbohydrate Polymers. 67: 46 - 55.
- AOAC. Association of official analytical chemists. 1995. official Methods of Analysis. Washington. D.C.
- Asp G, Van Amelsvoort J, and Hautvast J. 1996. Nutritional implications of resistant starch. Nutr. Res. Rev. 9: 1 – 31.
- Badenhuizen N. 1969. The biogenesis of starch granules in higher plants. New York: Appleton Crofts.
- Badui S. 1982. Química de los alimentos. Madrid: España. Editorial: Alambra
- Badui S. 1999. Química de los alimentos. Edit: Alhambra. Mexico. 300p.
- Bello L, Jimenez A, Contreras S, Romero R, Solorza J. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano musa paradisiaca L. (Var. Macho) Agrociencia. Nº 2, 36, 169 - 180.
- Biliaderis C. 1998. Polysaccharide Association Structures in Food. New Cork. Edith: Borrad. 352p.
- Bonierbale M, Amoros W. 2001. Perspectivas de papa para la industria, perspectivas tecnológicas en el uso de germoplasmas de papas nativas. Edición: CIP. 23-34 pp.

- Breck Z. 1999. Introducción a la bioquímica de alimentos. Mexico. 128- 144p.
- Carrera C.1996. Obtención y caracterización de almidón de Pijuayo (*Galielma gasipaes*). [Tesis de título] Lima: Universidad Agraria la Molina. Facultad de Facultad de Ingeniería de alimentos. 20 p.
- Carbonell E; Costell E Duran L. 1990. Comportamiento reológico de los productos derivados de fruta. Flujo, dependencia del tiempo y plasticidad. Rev. Agroquim. Tecnología Alimentaria. 2: 189-209.
- CIP. Centro Internacional de la Papa. 2005. Hojuelas de papas de colores. Conservando la biodiversidad ancestral con nuevas formas de consumo. Lima, CIP. 2 pp.
- CIP. Centro Internacional de la Papa. 2003. Hojuelas de papas de colores. Conservando la biodiversidad ancestral con nuevas formas de consumo. Lima, CIP. 2 pp.
- COMTRADE. United Nation Commodity Trade Statistics database. New York. 2008.
- Cone J, and Wolters M. 1990. Some properties and degradability of isolated starch granule. Starch 40-N°8. 298-301.
- Chaplin M. 2007. Water structure and science. Londres. <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html> 8/01/2008.
- Charley H.1989. Tecnología de alimentos. México. Editorial: Acribia 352 p.
- Cheftel H. 1976. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza. Editorial: Acribia. 360p.
- Chen Z, Schols H. Vonangen A. 2003. Starch granule size strongly determines starch noodle processing and noodle quality. J. Food Sci. 68, 1584 - 1589.
- Davis S S. 1973. Rheological properties of semi-solid foodstuffs. Viscoelastic and its role in quality control. J.Texture Studies 4, 15.
- De Mendiburu, F. 2007. Agricolae: Statistical procedures for agricultural research. R package version 1.0 - 4.
- Donald C, Brent S, Doss W, David Mc, Greer B. 2002. Image tool V.3 Department of dental Diagnostic Science a the University of Texas Health science center, San Antonio de Texas.
- Estrada N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Lima: Perú. Edición: Hardy – CIP. 372 p.
- Espin S, Villacres E, Brito B. 2004. Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos IV. En Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Editorial Quito.

- Lima: Instituto nacional de investigaciones agropecuarias. INIAP - Centro internacional de la papa (CIP). Pag. 91- 116.
- Fennema O. 2000. Química de los alimentos. Madrid. Editorial: Acribia.
- Ganga Z, y Corke H. 1999. Physical properties of starch of asian-adapted potato varieties. *Journal of the science of food agriculture*, 79: 1642 – 1646.
- García F, Méndez G, Vargas A, Agama E, Bello A. 2006. Caracterización parcial del almidón de Piñón (*Araucaria angustifolia*). Centro de productos Bioticos del IPN.
- Garza S. 2007. Caracterización reológica y microbiológica, y cinética de deterioro en cremogenado de melocotón. Servei de publicacions. Universitat de Lleida. 168.
- González E, Méndez G, Solorza J, Toro J, Bello A. 2003. Rheological and thermal characterization of okenia hypogaea (Schlech & Cham) Starch. *Carbohydrate Polimers*. 52: 297 - 310.
- Gonzales R, Mora R, Hernandez H, Bello L. 2006. Evaluación de las propiedades funcionales de almidón extruido de plátano (*Musa paradisiaca L.*) CEPROBI-IPN. Yautepec-México.
- Goñi I, García-Diz L, Mañas E, and Saura-Calixto F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem*. 56: 445 - 449.
- Glas J, Johnson K, Powelson M. 2001. Assessment of barriers to prevent the development of potato tuber bligh caused by *Phyphthora infestans*. *Plant Dis*. 85: 521 - 5 28.
- Hawkes J G. 1990. The potato: Evollution, Biodiversity and Genetic Resources. London, Belhaven Press. 259 p.
- Hoover R. 2001 Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polimers*, 45, 253-266.
- Huaman, Z. 1986. Botánica sistemática y morfología de la papa. Perú. Boletín de información técnica, nº 6. CIP. 22pp.
- Huaman, Z y Spooner. 2002. Reclasificación de landrace populations of cultivated potatoe. *American journal of Botany*. 89(6) 947-965.
- Hung P, Maeda T, Miskelly D, Tsumori R, morita N. 2007. Physicochemical characteristics and fine structure of high-amilose wheat starches isolated from Australian wheta cultivar. *Carbohydrate Polimers*, doi:10.1016/j.carbpol.2007/07/15

- Hurtado B. 1997. Valoración de las amiláceas “no cereales” cultivadas en países andinos: Estudios de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferentes tratamientos estresantes. Fundación universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Facultad de ingeniería de Alimentos Santa Fe de Bogota. D.C. Colombia. 143 p.
- ISO 6647. 1987. International organization for standarization.
- Industrialización de la papa 2008. Almidón <http://www.angelfire.com/pro/papalima/enlaces/papa03.htm>. 2/08/2008.
- International Starch Institute. 2008. <http://www.starch.dk/international@starch.dk> . 3/01/2008.
- Jane J. 1992. Preparation and food application of physically modified starches. *Trans Food Sci.Technol* 3(6).
- Jane J, Schen J. 1993. Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. Department of food Science and human Nutrition, Iowa State university, Ames, iowa 50011 (USA).
- Jiménez J, Salazar J, Ramos E. 2007. Physical, Chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) Tuber and its comparison whith potato and maize starches. *Carbohydrate polymers*. 68: 679-686.
- Kaur L, Singh J, McCarthy O, Singh H. 2007(a). Physico-chemical, Thermal and structural properties of fractionated starches of different potato cultivars grown at different locations. *Food Chem*. 101: 643-651.
- Kaur L, Singh J, McCarthy O, Singh H. 2007(b). Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Food Eng*. 82: 383-394.
- Kaur L, Singh N, Singh N. Sodhi. 2002. Some properties of potatoes and their starch II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chem*. 79: 183-192.
- Kazami D, Tsuchiya T, Kobayashi Y, Ogura N. 2000. Effect of storage temperature on quality of potato tubers. *Journal of the japanese Society for food science and tecnology – Nippon shokuhin kagaku kagaku kaischi*. 47: 851 - 856.
- Kim S, Wiesenborn D, Orr P, Grant L. 1995. Screening potato starch for novel properties usin differential scanning calorimetry. *Journal of food science*, 60: 1060 - 1065.

- Konishi Y, Arnao I, Calixto M R. 2006. Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencial. *Rev. Soc. Quím. Perú* v.72 n.1.
- Krossman J, Lloyd J. 2000. Understanding and influencing starch biochemistry. *Critical Reviews in Biochemistry and molecular Biology*. 35: 141 - 196.
- Krueger B, Knutson C, Inglet G, Walker C. 1987. A diferencial scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *Journal of food science*. 52: 715 - 718.
- Lewis M. 1993. *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. Edit: Acribia. España.
- Lindebooma N, Chang P, Tylera. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. *Starch*. 56: 89 - 99.
- Lisinska G, Leszczynski W. 1989. *Potato science and technology*. England and USA. Elsevier Applied Science. 391 pp.
- Liu Q, Weber E, Currie V, Yad R. 2003. Physico-chemical properties of starches during potato growth. *Carbohydrate Polymers* 51: 213 - 221.
- Lu T, Duh Chi-Schen D, Lin J, Chan Y. 2008. Effect of granular characteristics on the viscoelastic properties of composites of amylose and waxy starches. *Food hydrocolloids*. 22: 164 - 173.
- Lund D. 1984. *Critical Reviews in food Sci. And nutricion* 20: 249 - 273.
- Maine M, Carroll C, and Torrance J. 1992. Culinary quality of tubers derived from *solanum phureja* and *S. Tuberosum* x *S.phureja* hybrids. *Journal of agricultural science*. 120: 213 - 217.
- Martinod D, Pacheco P. 1974. Contenido de amilosa y amilopectina de almidones. *Ciencia y Naturaleza*. 15 (1): 2 -7.
- Maria F, Wenzel E. 2006. *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. Edit. Universidad de Sao Paulo – Sao Paulo. 648p.
- Matos A, Menegalli F. 1998. *Modelagem matemática e simulação do perfil de temperatura num extrusor de rosca dupla corrotacional entrelaçada*. Tesis (Doutor em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade Estadual de campinas, Faculdade de Engenharia de alimentos. 40 - 41pp.
- MINAG 2007 Ministerio de Agricultura del Perú. Origen de la papa. En portal agrario http://www.portalagrario.gob.pe/papa_origen.shtml.

- MINAG. Ministerio de agricultura del Perú. 2008. Cadena productiva: Papa-Agroindustria En: Portal Agrario del Ministerio de Agricultura del Perú. Disponible en: http://www.portalagrario.gob.pe/dgpa_papa_agro.shtml.
- Mishra S, Rai T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food hydrocolloids* 20: 557 - 566.
- McGrance S, Cornell H, Coling R. 1998. A simple and rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in starch products. *Starch*. 50 : N°4, 158-163.
- Noda T, Kottarachchi N, Shogo Tsuda, Mori M, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim S, Hashimoto N, Yamauchi H. 2007. Starch phosphorus content in potato (*solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydrate polymers*. 68:793-796p.
- Noda T, Tsuda S, Mangalika W, Hanaoka A, Mory M, Takigawa S, Hetti W, Susuki Y. 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chem*. 86: 119 - 125.
- Noda T, Takigawa S, Matsuura-Endo Ch, Hashimoto N, Hanaschiro I. 2005. Physico-chemical properties and amylopectin structure of large, small, and extremely small potato starch granule. *Carbohydrate polymer*, 60: 245 - 251.
- Noda T, Kobayashi T, Suda I, 2001. Effect of soil temperature on starch properties of sweet potatoes. *Carbohydrate polymers* 44: 239- 246.
- Noda T, Takahata Y, Nagata T. 1992. Developmental changes in properties of sweet potato starches. *Starch*. 44: 405 - 409.
- Ochoa C. 2002. Las papas de Sudamérica Bolivia. Lima, Perú: Editorial: Plural.
- Ochoa C. 1999. The Potatoes of South America: Perú. Cansas USA. Press Allen. 1036 p.
- Ochoa C. 2000. Biodiversidad de las papas.
- Paredes L, Shevenin L, Hernández D, Carabestrepo A. 1989. Amaranth starch-isolation and characterization. *Starch*. 41: 205 - 207.
- Pavlista, A.D. 1997. Potato types: Their characteristic and uses. *The american Biology teacher*. 59: 26 - 34.
- Piaggio 2007. Tejidos fundamentales del parenquima. <http://micol.fcien.edu.uy/atlas/index.html> (11/02/2008).
- Rha C K. 1978. Rheology of fluid foods. *Food Technol*. July. 77- 82.
- Rao M, okechukwu P, Da Silva P and Olivera J. 1997. Rheological behavior o heated starch dispersions in excee water: role of starch granule. *Carbohydrate Polimers* 33: 273 - 283.

- Razavi S, Najafi M, Alaei Z. 2007. The time independent rheological properties of low fat sesame paste / date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food hydrocolloids*. 21: 198 - 202.
- Rooney L y Huang D. 2001. Starches for snack foods En: *Snack foods processing*, editorial: Lusas. 115-130p.
- Sandoval A, Rodriguez E, Fernandez A. 2005. Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*. 146: 45 - 53.
- Sanchez L, Solorza J, Mendez G, Paredes O, Bello L. 2002. Isolation and partial characterization of okenia (*Okenia Hypogaea*) starch. *Stärke* **issn** 0038-9056 coden strka. 6, vol. 54, n°5, 193-197.
- Santacruz S. 1995. Estudio de las características del almidón de Achira (*Canna edulis*) para su industrialización. [Tesis previa a la obtención del título] Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química. 82 p.
- SAS. (Statistic. Analysis System Institute Inc) 1999. SAS/SAT User's guide. Version 8.2. Edition, Volumen SAS institute Cory us 890p.
- Segura, Peña D. 2004. Evaluación de la potencialidad en 15 genotipos de papas nativas (*Solanum tuberosum*, *Solanum stenotomum*, *Solanum goniocalyx*, *Solanum phureja*) Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias). Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias. 110p.
- Singh J, MacCarthy O, Singh H, Mounghan P. 2008. Low temperature post-harvest storage of new Zealand Taewa (Maori potato): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chem*. 106: 583-596.
- Singh J, MacCarthy O, Singh H, Mounghan P, Kaur L. 2007. Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolation from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – a novel source. *Carbohydrate polymers*. 67: 233 - 244.
- Singh N, Kaur L, Ezekiel R, Gurraya H. 2005. Microestructural, cooking and textural characteristic of potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers in relation to physico-chemical and functional properties of their flour. *Journal of the Science of food and agriculture*, 85: 1275-1284.

- Singh N, Singh J, Kaur L, Singh Sodhi N, Singh Gill B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. 81: 219-231.
- Singh J, Singh N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. Food chem. 75: 67-77p.
- Suszkin J. 2005, Enero. Perú: Almidón de grado alimenticio tiene un nuevo uso industrial. [www.almidon.com] (consultado 28/12/2006).
- Schoch J, Kite F, Leach W. 1957. Granule swelling and paste viscosity of Thick-Boiling Starches. The Bakers Digest.
- Ungent D. y Ochoa C 2006. La etnobotanica del Perú desde la prehistoria al presente. Editorial- Universidad mayor de San Marcos, Perú. 379p.
- Van O. 1996. Starch plastics. The netherlands. Prod. Res. 163 p.
- Vansanathan T, bergthaller W, Driedger D, Yeung J, Sporns P. 1999. Starch from Alberta potatoes: Wet- isolation and some physicochemical properties. Food research international. 32: 355-365.
- Whistler R, Bemiller J, Paschall E. 1984. Starch Chemistry and Technology, Second edition, Edition: academic press , London 718p.
- Wiesenborn D, Orr P, Casper H, Tacke B. 1994. Relationship between potato starch paste behavior and selected physical/chemical properties. Journal of food science, 58: 644-648.
- Wischmann B, Ahmt T, Bandsholm O, Blennow A, Young N, Jeppesen L, Thomsen L. 2007. Testing properties of potato starch from different scales of isolations- A ringtest. Journal of food engineering. 79: 970 - 978.
- Yuan Y, Zhang L, Dai Y, Yu J. 2007. Physico chemical properties of starch obtained from *Discorea nipponica* Makino comparison with other tubers starches. Journal Food Engineering. 82: 436 - 442.
- Yuan R, Thompson B, Boyer D. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of Maite starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. Cereal Chem. 70: 81 - 89.
- Zaidul I, Yamauchi S, Takigawa C, Matsuura E, Suzuki T, Noda T. 2007. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. Food chemistry. 105: 164 -172.

- Zaidul I, Yamauchi S, Takigawa C, Matsuura E, Suzuki T, Noda T. 2008. Thermal analysis of mixtures of wheat flour and potato starches. *Food Hydrocolloids*. 22: 499 - 504.
- Zaidul I, Nik Norulaini N, Moh. Omar A, Yamauchi, Noda T. 2007. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydrate polymers*. 69: 784 -791.
- Zihua A, Jay J. 2007. Characterization and modeling of the A- and B- granule starches of wheat, Tricale, and barley. *Carbohydrate Polymers* 67: 46 - 55.

ANEXO – 1

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AMILOSA

Método ISO 6647.

Pesar 100 mg de muestra bien molida en un frasco volumétrico de 100 ml. Agregar 1ml de etanol al 95 % y 9 ml de Hidróxido de sodio 1N, tapar y dejar a temperatura ambiente entre 18 a 24 horas. Completar a 100 ml con agua doblemente deionizada .

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar una alícuota de 5 ml de la solución anterior, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2 %, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada. Almacenar los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y leer la densidad óptica a 620nm.

BLANCO.

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar 5 ml de hidróxido de sodio 0.09N, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2 %, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada.

CURVA STANDARD

Pesar separadamente 100 mg de amilosa y 100 mg de amilopectina en frascos volumétricos de 100 ml, agregar a cada frasco 1 ml de etanol al 95 % y 9 ml de hidróxido de sodio 1N, tapar y dejar a temperatura ambiente entre 18 a 24 horas. Preparar una curva estándar de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. curva estandar de amilosa

% AMILOSA	AMILOSA (ml)	AMILOPECTINA (ml)	N_aOH 0.09N (ml)
0	0	18	2
10	2	16	2
20	4	14	2
25	5	13	2
30	6	12	2

En un frasco volumétrico de 100 ml que contenga 50 ml de agua doblemente deionizada agregar 5 ml de cada punto de la curva estándar, 1 ml de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo al 2%, mezclar bien y completar a volumen con agua doblemente deionizada. Almacenar los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos y leer la densidad óptica a 620 nm.

ISO (International Organization for Standardization). 1987. Norma ISO 6647 (F). Riz –Determination de la teneur en amylose. Switzerland. 3p.

Método McGrance (1998) DMSO.

- En un tubo falcon con tapa rosca de 50 ml, pesar 0.1 g de almidón (bs) y agregar 8 ml de dimetil sulfoxido (DMSO) al 90 %.
- Agitar los tubos vigorosamente por 20 minutos en un agitador magnetico.
- calentar en un baño maria con agitacion por 15 minutos a 85 °C.
- Enfriar los tubos a temperatura ambiente y diluir con agua deionisada en una fiola volumetrica de 25 ml.
- En una fiola de 50 ml, tomar una alicuota de la solución diluida (1 ml).
- Mezclar con 40 ml de agua deionisada y 5 ml de la solucion iodurada (I₂/ioduro de potacio KI) (0.0025M I₂ y 0.0065M KI).
- Enrrasar la fiola con agua deionizada y dejar en reposo por 15 minutos en un lugar oscuro y a temperatura de ambiente.

- Medir la absorbancia a 600 nm en un espectrofotometro UV/Visible. La curva estandar fue determinada con amilosa y amilopectina pura de papa conteniendo 0, 10, 25, 50, 75 y 100 % de amilosa.

ANEXO – 2

Determinación del poder de hinchamiento y solubilidad del almidón.

Procedimientos.

- En un tubo pequeño seco y tarado pesar 0.3 g de almidón en b.s .
- Adicionar agua destilada para dar un volumen equivalente a 18 ml (18 ml = humedad del almidón mas el agua destilada).
- Colocar en un baño de agua por 30 minutos, a temperaturas de 60, 70, 80, y 90 °C con agitación contante.
- Retirar el tubo del baño de agua y agregar agua para completar a 20 ml, mezclar bien para luego centrifugar por 15 minutos a 10 000 rpm.
- Retirar el sobrenadante, y tomar 5ml en un vaso precipitado para luego secar 80°C por 16 horas. Enfriar en un desecador pesar. El peso del almidón soluble se considera a la diferencia entre el peso final del vaso y el inicial utilizar este resultado en la siguiente formulas.

$$\% \text{ Sol. Soluble} = \frac{\text{Peso almidón soluble} * 20 \text{ml de agua total} * 100}{\text{(b.s)} \quad \text{Peso de almidón en b.s} * 5 \text{ml alícuota.}}$$

- Pesar el tubo con gránulos hinchados o dilatados para determinar el peso de la pasta. Luego calcular el poder de hinchamiento de los granulos expresados en g/g.

$$\% \text{ Poder de hinchamiento} = \frac{\text{Peso de pasta sedimentada} * 100}{\text{Peso de almidón en (b.s)} * (100 - \text{solubles b.s})}$$

ANEXO – 3

Determinación de análisis proximal.

1.- Comparación de medias para contenido de humedad (Kruskal Wallis).

Número CIP	Nombre del cultivar	Humedad g/100g	Desviación estándar	Kruskall wallis	Rank
705162	Desconocido	81.05	0.16	A	51.5
705227	Hualcala	80.40	0.19	A	49
374080.5	Perricholi	80.13	0.55	AB	48
705154	Desconocido	78.75	0.38	ABC	45.5
380389.1	Canchan inia	78.00	0.19	BCD	42.5
701570	Chaucha	77.76	0.66	CD	41.5
703282	Ishco Puro	77.72	0.11	CD	40.5
705806	Desconocido	77.04	0.35	DE	36.5
705816	Mambera Amarilla	77.02	0.02	DE	36.5
703510	Amarilla	76.53	0.14	EF	32.5
703514	Desconocido	76.44	0.84	EFG	30.5
706824	Chaucha	76.30	0.36	FGH	28
705197	Desconocido	76.29	0.20	FGH	29
706767	Churilla Brote Blanco	76.06	0.01	GHI	24.5
705167	Desconocido	75.79	0.45	HI	23
703506	Papa Ibia Rosada	75.64	0.66	I	21.25
705155	Desconocido	75.44	0.71	I	18.5
704227	Ratona	75.39	0.31	I	18.75
706790	Chaucha Amarilla Larga	75.36	0.25	I	19
703294	Desconocido	73.84	0.36	J	11.5
703325	CPY-143-1	73.81	0.40	J	12
705165	Desconocido	73.72	0.51	JK	10
703308	Chaucha Curilla Redonda	73.25	0.21	JKL	6.5
703546	Argentina Blanca	73.18	0.37	JKL	6
703513	Desconocido	73.14	0.41	KL	5
703570	Desconocido	71.56	0.11	L	1.5

Comparación de tratamiento a un nivel de 0.05

t-student:	2
Alpha	0,05
LSD	6,37711

2.- Comparación de medias para contenido de proteína (Kruskal Wallis).

Número CIP	Nombre del cultivar	Proteína g/100 bs	Desviación estandar	Kruskall wallis	Rank
701570	Chaucha	14.29	0.31	A	75.67
705162	Desconocido	14.19	0.49	A	75.33
705197	Desconocido	12.64	0.43	AB	70.67
705167	Desconocido	11.84	0.2	BC	63.00
705816	Mambera Amarilla	11.76	0.32	BCD	61.67
703325	CPY-143-1	11.7	0.02	BC	63.00
706824	Chaucha	11.34	0.4	CDE	56.00
705154	Desconocido	11.25	1.52	CDE	57.00
706790	Chaucha Amarilla Larga	10.67	0.86	CDEF	52.33
703513	Desconocido	10.4	0.51	DEF	50.33
703308	Chaucha Curilla Redonda	10.04	0.19	EFG	46.33
705806	Desconocido	9.82	0.12	FGH	40.33
705165	Desconocido	9.79	0.1	FGH	40.67
703282	Ishco Puro	9.66	0.54	GHI	38.00
703514	Desconocido	9.56	1.69	HI	34.00
706767	Churilla Brote Blanco	9.56	0.12	GHI	35.00
703294	Desconocido	9.52	0.55	GHI	36.00
705227	Hualcala	9	0.26	IJ	26.66
374080.5	Perricholi	8.45	0.97	JK	21.67
703506	Papa Ibia Rosada	8.17	0.14	JKL	19.33
703570	Desconocido	8.13	0.93	JKL	18.00
703546	Argentina Blanca	8.06	0.16	JKL	17.67
380389.1	Canchan inia	7.6	0.22	KLM	13.33
703510	Amarilla	7.14	0.26	LM	8.00
704227	Ratona	6.63	0.09	M	4.67
705155	Desconocido	6.32	0.27	M	2.33

Comparación de tratamiento a un nivel de 0.05

t-student	2,01
Alpha	0,05
LSD	12,11

3.- Comparación de medias para contenido de ceniza (Kruskall Wallis).

Número CIP	Nombre del cultivar	Ceniza g/100 (bs)	Desviación estándar	Kruskall wallis	Rank
705162	Desconocido	9.319	0.467	A	50.5
705155	Desconocido	8.259	2.661	ABC	42
703294	Desconocido	8.135	0.390	AB	47.5
703570	Desconocido	7.648	0.754	ABC	44.5
705165	Desconocido	7.179	0.761	ABC	40
701570	Chaucha	7.073	0.003	ABC	39.5
703514	Desconocido	7.022	0.142	ABC	40
374080.5	Perricholi	6.991	1.348	ABC	38
703325	CPY-143-1	6.720	0.979	BC	35.5
705167	Desconocido	6.522	1.331	BC	35
703282	Ishco Puro	6.568	0.201	BCD	34.5
703506	Papa Ibia Rosada	6.548	0.349	BCD	34
705154	Desconocido	6.136	0.639	CDE	30.5
704227	Ratona	5.416	0.223	DEF	20
706790	Chaucha Amarilla Larga	5.392	0.096	DEF	20
703513	Desconocido	5.540	0.985	EFG	18
703546	Argentina Blanca	5.367	0.111	EFG	18.5
380389.5	Canchan inia	5.324	0.291	EFG	18
705806	Desconocido	5.308	0.156	EFG	16.5
705197	Desconocido	5.244	0.297	EFGH	16
706824	Chaucha	5.264	0.151	FGH	15.5
703308	Chaucha Curilla Redonda	5.249	0.267	FGH	15.5
703510	Amarilla	4.981	0.018	FGH	8.5
705816	Mambera Amarilla	4.696	0.232	FGH	5.5
706767	Churilla Brote Blanco	4.570	0.161	GH	4
705227	Hualcala	4.060	0.160	H	1.5

Comparación de tratamiento a un nivel de 0.05

t-student	2.055.529
Alpha	0.05
LSD	1.485.002

4.- Comparación de medias para contenido de fibra (Waller Duncan).

Número CIP	Nombre del cultivar	Fibra g/100 (bs)	Desviación Standar	Waller-Duncan
703506	Papa Ibia Rosada	4.32	0.19	A
705197	Desconocido	4.22	0.16	A
706824	Chaucha	4.03	0.04	A
374080.5	Perricholi	3.91	0.62	A
703282	Ishco Puro	3.43	0.17	A
703510	Amarilla	3.21	0.05	BC
705806	Desconocido	3.17	0.08	BCD
705167	Desconocido	3.17	0.11	BCD
703570	Desconocido	3.16	0.40	BCDE
703294	Desconocido	3.13	0.05	BCDE
705165	Desconocido	3.06	0.05	BCDE
705162	Desconocido	2.95	0.72	CDEF
706767	Churilla Brote Blanco	2.92	0.08	CDEFG
703514	Desconocido	2.90	0.11	CDEFGH
705155	Desconocido	2.88	0.28	CDEFGH
705816	Mambera Amarilla	2.84	0.10	CDEFGH
703546	Argentina Blanca	2.74	0.05	CDEFGHI
701570	Chaucha	2.72	0.18	EFGHI
380389.1	Canchan inia	2.66	0.02	FGHI
703325	CPY-143-1	2.64	0.09	FGHI
705227	Hualcala	2.62	0.13	FGHI
703308	Chaucha Curilla Redonda	2.49	0.07	GHI
703513	Desconocido	2.48	0.01	GHI
705154	Desconocido	2.46	0.01	HI
706790	Chaucha Amarilla Larga	2.38	0.05	HI
704227	Ratona	1.60	0.23	J

Análisis de varianza ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	25	18,4276	0,7371	13,55	<.0001
Error	26	1,4138	0,05437		
Total	51	19,8414			

Promedio	3,0042
Coeff. Var	7,76
R ²	0,92874

5.- Comparación de medias para contenido de grasa (Waller Duncan).

Número CIP	Nombre del Cultivar	Grasa g/100 (bs)	Desviación estándar	Waller-Duncan
706824	Chaucha	2.89	0.13	A
706767	Churilla Brote Blanco	2.86	0.03	A
703510	Amarilla	2.26	0.24	B
705816	Mambera Amarilla	2.21	0.10	B
374080.5	Perricholi	1.90	0.57	BC
703282	Ishco Puro	1.56	0.14	C
705155	Desconocido	0.90	0.04	D
703513	Desconocido	0.82	0.04	DE
701570	Chaucha	0.70	0.11	DEF
705197	Desconocido	0.69	0.20	DEF
705154	Desconocido	0.68	0.03	DEF
703325	CPY-143-1	0.64	0.01	DEF
703514	Desconocido	0.61	0.01	DEF
703294	Desconocido	0.58	0.02	FG
705165	Desconocido	0.55	0.03	FGH
703570	Desconocido	0.45	0.06	GHI
705167	Desconocido	0.37	0.04	HIJ
380389.1	Canchan inia	0.34	0.11	HIJK
705162	Desconocido	0.29	0.01	IJKL
705227	Hualcala	0.26	0.17	JKLM
703308	Chaucha Curilla Redonda	0.23	0.05	KLM
706790	Chaucha Amarilla Larga	0.21	0.00	KLM
703506	Papa Ibia Rosada	0.21	0.09	KLM
703546	Argentina Blanca	0.20	0.02	KLM
705806	Desconocido	0.20	0.06	LM
704227	Ratona	0.16	0.01	M

Análisis de varianza ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	25	8,1863	0,3274	62,68	<.0001
Error	26	0,1358	0,0052		
Total	51	8,3221			

Promedio	0,9836
Coeff	8,54
R ²	0,98368

6.- Comparación de medias para carbohidratos (Waller Duncan).

Número CIP	Nombre del Cultivar	Carbohidratos g/100 (bs)	Desviación estándar	Waller-Duncan
704227	Ratona	86.22	0.095	A
Canchan	Canchan inia	84.16	0.147	AB
705227	Hualcala	83.93	0.393	B
703546	Argentina Blanca	83.66	0.165	B
703510	Amarilla	82.26	0.171	BC
703308	Chaucha Curilla Redonda	82.11	0.281	BCD
705806	Desconocido	81.54	0.147	CDE
705155	Desconocido	81.50	2.759	CDEF
706790	Chaucha Amarilla Larga	81.19	1.303	CDEF
703570	Desconocido	81.15	0.388	CDEF
703506	Papa Ibia Rosada	80.77	0.125	CDEF
703513	Desconocido	80.64	0.268	CDEFGH
706767	Churilla Brote Blanco	80.14	0.157	DEFGHI
705154	Desconocido	79.95	2.409	EFGHIJ
703514	Desconocido	79.471	2.172	EFGHIJ
705165	Desconocido	79.42	0.692	FGHIJ
703294	Desconocido	78.87	0.817	GHIJK
705816	Mambera Amarilla	78.67	0.365	GHIJK
703282	Ishco Puro	78.65	0.462	HIJK
703325	CPY-143-1	78.31	0.871	IJKL
Perricholi	Perricholi	78.19	2.561	IJKL
705167	Desconocido	77.99	1.459	JKL
705197	Desconocido	77.30	0.639	KLM
706824	Chaucha	76.25	0.075	LM
701570	Chaucha	75.36	0.026	M
705162	Desconocido	72.97	0.105	N

Análisis de varianza ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	25	421,6	16,9	13,6	<.0001
Error	26	31,8	1,2		
total	51	453,4			

Promedio	80,03
Coeff	1,38
R ²	0,93

ANEXO - 4

Comparación de medias para contenido de amilosa (Waller Duncan).

Número CIP	Nombre del Cultivar	% de amilosa (bs)	Desviación estándar	Waller-Duncan
705227	Hualcala	43.26	1.70	A
705162	Desconocido	42.20	1.87	AB
703294	Desconocido	41.89	2.03	AB
703513	Desconocido	41.58	1.58	AB
705155	Desconocido	41.22	1.54	ABC
703282	Ishco Puro	41.15	1.71	ABC
703514	Desconocido	40.79	1.80	ABCD
703546	Argentina Blanca	40.75	1.59	ABCDE
A-imp	Alm. importado	40.52	3.20	BCDEF
703506	Papa Ibia Rosada	40.48	3.47	BCDEF
703510	Amarilla	40.36	1.49	BCDEF
701570	Chaucha	40.36	0.83	BCDEF
706824	chaucha	38.87	1.16	CDEFG
703308	Chaucha Curilla Redonda	38.87	1.18	CDEFG
380389.1	Canchan inia	38.83	2.02	CDEFG
704227	ratona	38.75	0.73	CDEFG
703325	CPY-143-1	38.60	1.65	DEFG
705197	Desconocido	38.48	2.11	DEFG
374080.5	Perricholi	38.24	0.34	EFG
705165	Desconocido	38.01	1.34	FG
705154	Desconocido	37.07	1.29	G
706790	Chaucha Amarilla Larga	36.40	0.77	G
703570	Desconocido	36.36	2.89	G
705167	Desconocido	33.77	2.38	G
706767	Churilla Brote Blanco	30.56	0.41	H
705816	Mambera Amarilla	30.09	0.48	I
705806	Desconocido	29.97	0.69	I
A-cte	Alm Camote	29.89	0.69	I
A-Maíz	Alm Maíz	28.36	0.38	I

Análisis de varianza ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	28	1499,5	53,6	18,61	<.0001
Error	58	166,9	2,9		
Total	86	1666,4			

Promedio	37,78
C.V	4,49
R ²	0,90

ANEXO - 5

Comparación de medias para viscosidad (Waller Duncan).

Número CIP	Nombre del Cultivar	Viscosidad (Ind. de consistencia) Pa. s	Desviación estándar	Waller-Duncan
A-Imp	Alm. Importado	59.42	1.60	A
380389.1	Canchan inia	48.20	1.06	B
704227	Ratona	47.84	0.58	B
705816	Mambra Amarilla	43.86	0.62	C
706767	Churilla Brote Blanco	38.70	0.16	D
706824	Chaucha	38.00	0.47	D
705197	Desconocido	35.79	0.39	E
703294	Desconocido	35.19	0.53	EF
705227	Desconocido	34.93	0.28	EF
705165	Desconocido	33.97	0.79	F
374080.5	Perricholi	32.61	0.73	G
706790	Chaucha Amarilla Larga	32.37	1.23	G
705154	Desconocido	31.43	1.58	GH
703308	Chaucha Curilla Redonda	30.65	2.19	H
703510	Amarilla	28.66	1.18	I
703325	CPY-143-1	27.92	0.85	I
705155	Desconocido	27.91	0.26	I
703570	Desconocido	25.73	0.30	J
705162	Desconocido	25.58	1.00	J
703513	Desconocido	25.37	0.53	JK
705806	Desconocido	25.11	0.92	JKL
701570	Chaucha	24.45	0.17	KL
703506	Papa Ibia Rosada	24.30	0.46	KLM
703282	Ishco Puro	24.15	0.20	LM
703546	Argentina Blanca	23.36	0.33	M
705167	Desconocido	19.53	0.57	N
703514	Desconocido	18.90	0.61	N
A-Maiz	Alm. Maíz	10.90	0.40	O
A-Cte	Alm. Camote	7.89	0.21	P

Análisis de varianza ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Value	Pr >F
Cultivar	28	86,27	3,08	539,6	<.0001
Error	58	0,33	0,01		
Total	86	86,60			

Promedio	30,4
Coeff. Var	1,4
R ²	1,0