



# Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería en Alimentos

**“Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), Papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) y Maíz (*Zea mays* L.)”**

Memoria presentada como parte  
de los requisitos para optar al  
Título de Ingeniero en Alimentos

**Mabel Jesury Ojeda Maechel**

Valdivia – Chile  
2008

**PROFESOR PATROCINANTE:**

Prof. Fernando E. Figuerola Rivas

Ingeniero Agrónomo, M.S. Food Science

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos .....

**PROFESORES INFORMANTES:**

Prof. Dr.-Ing. Kong Shun Ah-Hen

Ingeniero en Alimentos, Dipl.-Ing., Dr.-Ing.

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos .....

Prof. Andrés N. Contreras Méndez

Ingeniero Agrónomo

Instituto de Producción y Sanidad Vegetal .....

*A mi querida madre, Valeska.  
Gracias por todo tu amor y esfuerzo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por su infinita fuerza y amor reflejado en todas las personas que han estado presentes en este camino de crecimiento. A mi familia por su incalculable cariño y apoyo.

A mi profesor patrocinante Fernando Figuerola por su gran apoyo e importantes consejos y conocimientos entregados en el desarrollo de la presente memoria.

A mi profesor informante Kong Shun Ah-Hen por su colaboración, paciencia y excelente disposición para las consultas.

A mi profesor informante Andrés Contreras por su ayuda y colaboración.

A los profesores Fernando Asenjo y Marcia Rojas por su permanente colaboración y muy buena disposición durante el trabajo de laboratorio.

A Luis Gómez por su asistencia e importante colaboración con el método de análisis térmico CDB.

Al personal administrativo, Tere, Martita y Sra. Iris y a los auxiliares del ICYTAL, Otto, don Tito y don José, por su constante colaboración y siempre buena disposición durante el transcurso de la carrera y el desarrollo de la memoria.

A todas mis amigas y amigos que a lo largo de este periodo universitario fueron partícipes de alguna u otra forma en mi desarrollo personal y profesional. Agradezco a todos el inmenso cariño y apoyo entregado, especialmente a Angie, Erika, Pame, Pili, Toña y Karla.

Muchas gracias a todos por ayudarme a alcanzar este importante logro en mi vida.

**ÍNDICE DE MATERIAS**

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Almidón	2
2.2	Gránulos de almidón	3
2.3	Propiedades termo-físicas del almidón	4
2.3.1	Gelatinización	4
2.3.2	Retrogradación	5
2.4	Fuentes de almidón	6
2.4.1	Piñón	6
2.4.2	Papa	7
2.4.3	Maíz	9
2.5	Extracción de almidón	10
2.6	Reología	11
2.7	Clasificación de los fluidos	12
2.8	Fluidos newtonianos	12
2.9	Fluidos no newtonianos	13
2.9.1	Fluidos independientes del tiempo	13
2.9.1.1	Pseudoplásticos	13
2.9.1.2	Dilatantes	13
2.9.1.3	Plástico de Bingham	13

2.9.2	Fluidos dependientes del tiempo	14
2.9.2.1	Tixotrópicos	14
2.9.2.2	Reopécticos	14
2.9.3	Viscoelásticos	15
2.10	Leyes de potencia	15
3	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b>	17
3.1	Lugar de la investigación	17
3.2	Materia prima y origen	17
3.3	Equipos	17
3.4	Metodología	18
3.4.1	Extracción de almidón de piñón	18
3.4.2	Extracción de almidón de papa	20
3.4.3	Análisis químicos	22
3.4.3.1	Humedad	22
3.4.3.2	Proteínas	22
3.4.3.3	Cenizas	22
3.4.3.4	Contenido de amilosa y amilopectina	22
3.4.4	Análisis comportamiento reológico	23
3.4.5	Calorimetría diferencial de barrido	25
3.4.6	Diseño experimental y análisis estadístico	26
4	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	27
4.1	Características físicas y químicas de los almidones extraídos	27
4.1.1	Rendimientos	27
4.1.2	Composición proximal	27
4.1.3	Contenido de amilosa y amilopectina	28

4.2	Propiedades térmicas	29
4.2.1	Propiedades térmicas de gelatinización	29
4.2.2	Propiedades térmicas de retrogradación	31
4.3	Viscosidad aparente	35
4.3.1	Propiedades de pasta fría y pasta caliente	35
4.3.2	Comportamiento reológico	37
4.3.3	Constantes reológicas	39
5	CONCLUSIONES	42
6	RESUMEN – SUMMARY	43
7	BIBLIOGRAFÍA	45
	ANEXOS	49

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1	Propiedades generales de algunos gránulos de almidón	6
2	Principales componentes de la papa	8
3	Constantes fundamentales para distintos tipos de flujos de alimentos	16
4	Ecuaciones para encontrar el factor de conversión para la transformación de la VNE en función de la velocidad de rotación	23
5	Factores de conversión para los husillos de los viscosímetros Brookfield RVT (bajo condiciones estándar de medición)	24
6	Ecuaciones y coeficientes de determinación de las gráficas de $n$ versus KNY para cada husillo, obtenidas a partir de los datos del cuadro 5	25
7	Rendimientos en la extracción de almidón	27
8	Composición proximal de almidones de piñón, papa y maíz	28
9	Contenido de amilosa y amilopectina	28
10	Propiedades de gelatinización para almidones de piñón, papa y maíz	29
11	Propiedades de retrogradación para almidones de piñón, papa y maíz	31
12	Constantes reológicas obtenidas para soluciones de almidón de piñón, papa y maíz preparadas al 4% p/p	39
13	Constantes reológicas obtenidas para soluciones de almidón de piñón, papa y maíz preparadas al 6% p/p	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructuras moleculares del almidón a) Enrollamiento helicoidal de la amilosa; b) Estructura química de la amilopectina	2
2	Representación esquemática del gránulo de almidón mostrando tres tipos diferentes de regiones: lamela amorfa y cristalina y anillos crecientes amorfos	3
3	Flujo para la extracción de almidón de piñón	11
4	Esfuerzo cortante frente a gradiente de velocidad para fluidos newtonianos y no newtonianos	14
5	Comportamiento de fluidos dependientes del tiempo	15
6	Línea de extracción del almidón de piñón	19
7	Línea de extracción del almidón de papa	21
8	Curvas de gelatinización en almidones de piñón, papa y maíz	33
9	Curvas de gelatinización de los almidones retrogradados de piñón, papa y maíz	34
10	Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de piñón durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm	35
11	Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de papa durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm	36
12	Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de maíz durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm	37
13	Reogramas de relación de esfuerzo de corte y relación de deformación para pastas de distintos tipo de almidón preparadas al 4% p/p y 6% p/p y medidas a cuatro temperaturas diferentes	38

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo		Página
1	Datos reológicos solución de almidón de piñón al 4% p/p	50
2	Datos reológicos solución de almidón de piñón al 6% p/p	51
3	Datos reológicos solución de almidón de papa al 4% p/p	52
4	Datos reológicos solución de almidón de papa al 6% p/p	53
5	Datos reológicos solución de almidón de maíz al 4% p/p	54
6	Datos reológicos solución de almidón de maíz al 6% p/p	55
7	Análisis estadístico para propiedades térmicas de gelatinización	56
7.1	Análisis estadístico para $T_o$ de gelatinización (temperatura inicial de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica)	56
7.2	Análisis estadístico para $T_p$ de gelatinización (temperatura peak de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	56
7.3	Análisis estadístico para $T_c$ de gelatinización (temperatura conclusión de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	57
7.4	Análisis estadístico para la entalpía de gelatinización entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	58
8	Análisis estadístico para propiedades térmicas de retrogradación	59
8.1	Análisis estadístico para $T_o$ de retrogradación (temperatura inicial de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	59
8.2	Análisis estadístico para $T_p$ de retrogradación (temperatura peak de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	59

8.3	Análisis estadístico para $T_c$ de retrogradación (temperatura conclusión de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	60
8.4	Análisis estadístico para la entalpía de retrogradación entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	61
8.5	Análisis estadístico para el % de Retrogradación entre muestras de almidón de distinta fuente botánica	62
9	Análisis estadístico para el índice de comportamiento reológico $n$ en soluciones al 4% p/p	63
9.1	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 85 °C en soluciones al 4% p/p	63
9.2	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 60 °C en soluciones al 4% p/p	63
9.3	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 40 °C en soluciones al 4% p/p	64
9.4	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 25 °C en soluciones al 4% p/p	65
10	Análisis estadístico para el índice de comportamiento reológico $n$ en soluciones al 6% p/p	66
10.1	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 85 °C en soluciones al 6% p/p	66
10.2	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 60 °C en soluciones al 6% p/p	66
10.3	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 40 °C en soluciones al 6% p/p	67
10.4	Análisis estadístico para $n$ (índice de comportamiento reológico) a 25 °C en soluciones al 6% p/p	68

## 1. INTRODUCCIÓN

El almidón se encuentra ampliamente distribuido en los más diversos órganos de las plantas como carbohidrato de reserva. Es también, como componente de gran cantidad de alimentos, la fuente más importante de carbohidratos de la alimentación humana. Además, los almidones y sus derivados tienen gran significación en diferentes ramas de la industria, tales como la alimentaria, textil y papelera, siendo el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial, después de la celulosa.

En las últimas décadas se ha progresado en las modificaciones por medios físicos y químicos de las propiedades de los almidones. Esto ha impulsado el empleo del almidón como ingrediente de los alimentos, especialmente en el control de la textura de los sistemas alimentarios y ha permitido la fabricación de numerosos alimentos que requieren un calentamiento mínimo para adquirir la viscosidad deseada.

Por lo anterior, es importante evaluar las características del almidón provenientes de diversas fuentes como piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) y maíz (*Zea mays* L.).

### **Objetivo General**

El objetivo general de este trabajo fue determinar algunas características físicas y químicas del almidón de piñón y papa usando como patrón el almidón de maíz.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar el contenido de almidón de piñón y de papa cultivar azul.
- Medir el contenido de amilosa y amilopectina.
- Establecer la temperatura y entalpía de gelatinización y de retrogradación.
- Determinar la viscosidad de pasta fría y de pasta caliente después del punto de gelatinización y definir el tipo de fluido de acuerdo a su comportamiento reológico.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

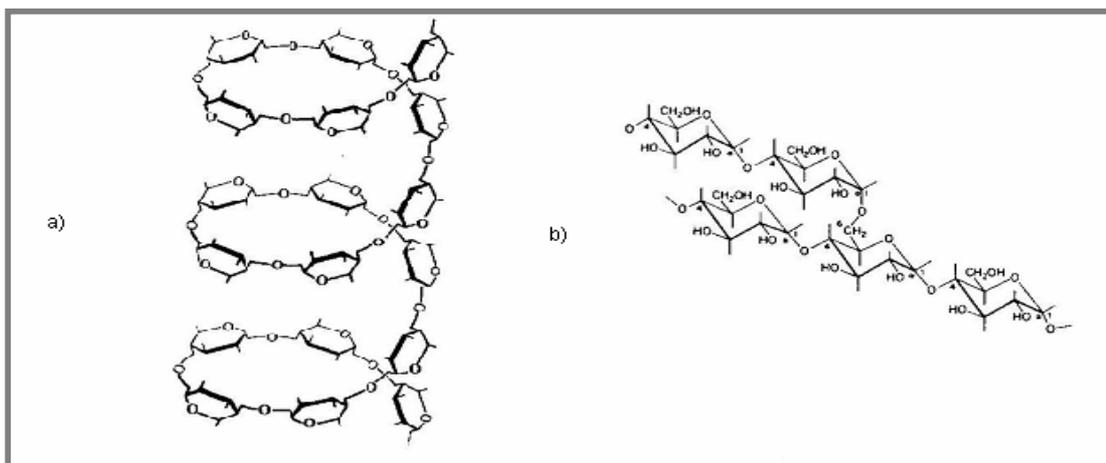
### 2.1 Almidón

El almidón es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual (FENNEMA, 2000).

Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades, es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Como se observa en la FIGURA 1, tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (BADUI, 1999).

Por su parte, se observa en la FIGURA 1, que la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (BADUI, 1999).

Alrededor del 70% del material que compone el almidón corresponde al polímero ramificado amilopectina. El 30% restante lo compone un polímero no ramificado o ligeramente ramificado, la amilosa (SMITH *et al.*, 2001).



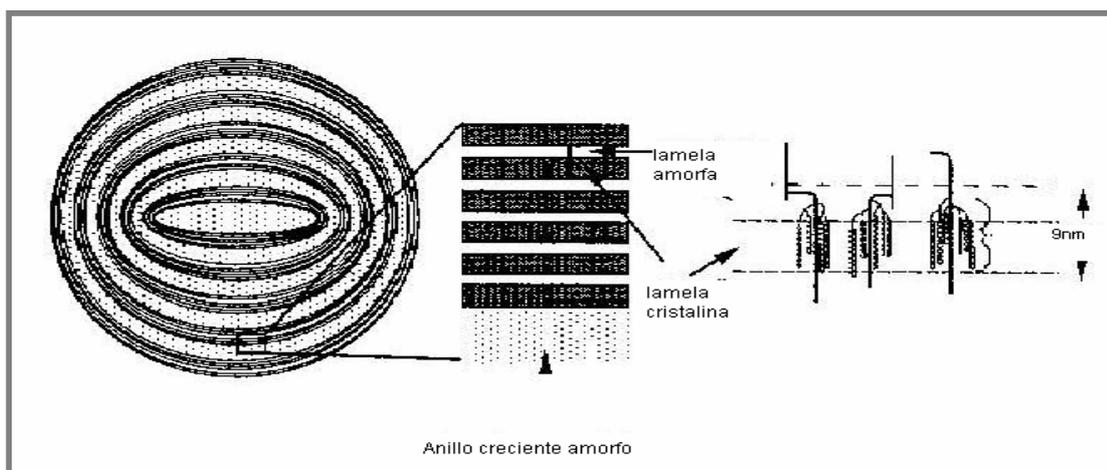
**FIGURA 1 Estructuras moleculares del almidón a) Enrollamiento helicoidal de la amilosa; b) Estructura química de la amilopectina.**

FUENTE: BADUI, 1999

## 2.2 Gránulos de almidón

El almidón sirve de reserva energética en el reino vegetal y se encuentra en pequeños corpúsculos discretos que reciben el nombre de gránulos; en el tejido vegetal, éstos ejercen una presión osmótica muy baja, con lo que la planta almacena grandes cantidades de glucosa de una manera muy accesible sin romper el balance de agua interior (BADUI, 1999).

La organización intramolecular entre amilosa y amilopectina con enlaces hidrógeno entre los grupos alcoholicos, directamente o a través de moléculas de agua, conduce a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas (capas menos organizadas ricas en puntos de enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6)) (FAO, 2007), estas moléculas están ordenadas de forma radial. Contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Las ramas agrupadas en paralelo de la amilopectina se encuentran plegadas como dobles hélices. Es este empaquetamiento de las estructuras en doble hélice lo que forma las muchas pequeñas áreas cristalinas muy densas que alternan con las menos densas y amorfas (FENNEMA, 2000). En la FIGURA 2 se observa el modelo convencional de los gránulos de almidón.



**FIGURA 2** Representación esquemática del gránulo de almidón mostrando tres tipos diferentes de regiones: lamela amorfa y cristalina y anillos crecientes amorfos.

FUENTE: DONALD *et al.*, 2001

El 70% aproximadamente de la masa de un grano de almidón se considera amorfo y el 30% aproximado cristalino. En las zonas amorfas se localiza la mayor parte de la amilosa, aunque también una fracción considerable de amilopectina. Las zonas cristalinas están formadas predominantemente por amilopectina. El grado de cristalinidad depende del grado acuoso (BELITZ y GROSCH, 1997).

La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina distribuidas radialmente que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales. Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”, esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa (BADUI, 1999).

### 2.3 Propiedades termo-físicas del almidón

Las propiedades de almidón dependen de las características físicas y químicas como del tamaño del gránulo, la distribución del gránulo, la proporción de amilosa/amilopectina y el contenido de minerales (Singh *et al.*, 2003 citado por KAUR *et al.*, 2007).

**2.3.1 Gelatinización.** Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad debido a las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen (BADUI, 1999), donde una fracción de volumen y su morfología juegan un papel importante en el comportamiento reológico de las dispersiones de almidón (Bagley y Christianse, 1982; Da Silva *et al.*, 1997; Evans y Haisman, 1979 citados por SANDHU y SINGH, 2007).

La gelatinización es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Evidencias de la pérdida de orden son: el hinchamiento irreversible del gránulo, la pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad (FENNEMA, 2000).

BELITZ y GROSCH (1997) señalan que en el proceso de gelatinización, en el que primero se produce una difusión de agua al grano, después una fusión en la zona cristalina favorecida por hidratación y finalmente una disolución, conforme aumenta el hinchamiento debido a que continúa la difusión de agua, se rompen principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de glucosa de los cristales, quizá también en parte de la zona amorfa.

Se da el nombre de temperatura de gelatinización a aquella en la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia y el patrón de rayos X; esta temperatura es en realidad un intervalo ya que los gránulos, aunque provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros (BADUI, 1999).

El calentamiento continuado de los gránulos de almidón en un exceso de agua resulta en un mayor hinchamiento de los gránulos, lixiviación de componentes solubles, principalmente amilosa y, eventualmente, de manera especial si se aplican fuerzas de cizalla, disrupción total de los gránulos. El hinchamiento de los gránulos y la disrupción da lugar a una masa viscosa que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopectina solubilizadas y una fase discontinua de restos de los gránulos (FENNEMA, 2000).

Los valores de viscosidad pueden variar con la temperatura, velocidad y concentración de la solución de almidón utilizada en el viscógrafo. El almidón de maíz muestra un rápido incremento de la viscosidad después de la gelatinización, hasta llegar a un punto máximo. La viscosidad disminuirá gradualmente durante el periodo de mantenimiento de la temperatura y posteriormente tendrá un incremento muy fuerte mientras la pasta se enfría y retrograda. El almidón de maíz ceroso prácticamente no tiene moléculas lineales de amilosa, es altamente estable y resistente a la retrogradación; al contrario, los almidones con alto contenido de amilosa tienen una retrogradación muy rápida. Su pasta permanecerá fluida y clara e incrementará su viscosidad más rápidamente que el maíz regular, su viscosidad máxima será mayor y se obtendrá más rápidamente produciendo pastas con poco cuerpo y muy cohesivas. El rompimiento será más rápido y acentuado. En el enfriamiento se presenta un ligero aumento en la viscosidad ya que no gelifica ni presenta sinéresis. El almidón de papa absorbe más agua mostrando un máximo inicial mayor. Su temperatura de gelatinización es menor, debido a que los grupos éster-fosfato presentes en el gránulo de papa tienden a debilitar los enlaces provocando un espesamiento más rápido al calentarse. El máximo pico de viscosidad cae rápidamente durante el mantenimiento de la temperatura. La solución muestra poca tendencia a retrogradarse durante el enfriamiento (FAO, 2007).

**2.3.2 Retrogradación.** Este fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y accionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; se puede efectuar por diferentes rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa (BADUI, 1999).

La retrogradación según LINDEN y LORIENT (1996), corresponde a la formación de ligaduras entre las cadenas de las moléculas alineadas. De ello resulta el fenómeno de sinéresis, con eventual exudación de líquido y caída de la viscosidad. La retrogradación es tanto más rápida cuanto más elevada sea la proporción de amilosa lineal.

Los geles de amilosa tienden a la retrogradación. Se denomina así el paso en gran medida irreversible del estado disuelto, fuertemente hinchado, a un estado microcristalino insoluble sin hinchar, que se consigue también por enfriamiento lento de un gel de almidón. La tendencia a la retrogradación se favorece con temperaturas

bajas, especialmente en torno a los 0° C, pH neutro, concentraciones altas y con la presencia de sustancias tensioactivas. Depende del peso molecular y del tipo de almidón y aumenta en la serie papa < maíz < trigo (BELITZ y GROSCH, 1997). En el CUADRO 1, se muestran algunas propiedades del almidón de maíz y papa.

**CUADRO 1 Propiedades generales de algunos gránulos de almidón**

	<i>Almidón de maíz común</i>	<i>Almidón de maíz céreo</i>	<i>Almidón de patata</i>
Tamaño de gránulo (eje mayor, µm)	2 - 30	2 - 30	5 - 100
Amilosa (%)	28	<2	21
Temperatura de gelatinización (°C) <sup>a</sup>	62 - 80	63 - 72	58 -65
Tendencia a gelificar/retrogradar	Alta	Muy baja	Media a baja

FUENTE: FENNEMA, 2000

<sup>a</sup> Desde la temperatura inicial de gelatinización hasta completar la formación de la pasta.

## 2.4 Fuentes de almidón

El almidón se encuentra principalmente en semillas, raíces y tubérculos, como también en tallos, hojas, frutos e incluso en el polen (Gallart *et al.*, 1992 citado por DÍAZ, 1997). Su concentración varía con el estado de madurez (BADUI, 1999).

**2.4.1 Piñón.** Los piñones son semillas comestibles con alto contenido energético. El piñón se caracteriza por un grueso endosperma de color blanco crema muy rico en hidratos de carbono, protegido por una cubierta externa o testa, coriácea y fibrosa, y por una endopleura rojiza muy adherida (TACÓN *et al.*, 2006). Los piñones son ricos en almidón, por lo que a partir de su harina se puede preparar, entre otros, pan y galletas (Gedda, 1982 citado por RADRIGÁN, 2002).

Esta semilla es obtenida de la araucaria (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), que es un árbol conífera, endémica de Chile y Argentina (Hoffmann, 1991, citado por HENRÍQUEZ *et al.*, 2008). Hay dos centros de distribución: la Cordillera de los Andes que constituye el área principal de crecimiento (37° 30' y 38° 40' S) y la Costa de la Cordillera de Nahuelbuta (entre 37° 20' y 38° 40' S) (Hoffman, 1991 y Herrmann, 2005 citados por HENRÍQUEZ *et al.*, 2008).

El piñón tiene una forma oblonga y cuneiforme. El tamaño está entre 3,5 y 4,5 cm de longitud; 1,2 y 2 cm de diámetro y el peso varía entre 3,5 y 3,8 gramos (Estévez, 1993 citado por HENRÍQUEZ *et al.*, 2008). Esta semilla tiene un bajo contenido de lípidos (2,3 - 2,6%) y proteínas (9,6 - 10,6%) (Schmidt-Hebbel *et al.*, 1992 citados por HENRÍQUEZ *et al.*, 2008). Sin embargo, el almidón es el componente más importante (60 - 61% en peso seco) (Cardemil y Reiner, 1982 citados por HENRÍQUEZ *et al.*, 2008).

**2.4.2 Papa.** La papa es una de las más de dos mil especies pertenecientes a la familia de las Solanáceas. Otros exponentes de esta familia son: tomate, ají, pimentón, berenjena, tabaco y petunia. Pertenecen al género *Solanum*, la papa es de origen americano. Su distribución, desde el sur del Cañón del Colorado en Estados Unidos de Norteamérica, hasta Los Chonos en el sur de Chile, comprende todos los países con Cordillera Andina (CONTRERAS, 2003).

Según Hawkes *et al.* (1992) citados por CONTRERAS (2003), el cultivo de papa en España data de alrededor de 1570 y habría provenido de Perú, sin embargo, a partir de 1850 en Europa y Norteamérica los cultivares generados tendrían una fuerte influencia de cultivares nativos de Chile, específicamente del sur (Chiloé). Estas papas chilenas presentan una gran variabilidad genética, la cual se expresa a través de variadas formas, tamaños y colores.

La papa es consumida en casi todos los pueblos del mundo, siendo junto al trigo, el maíz y el arroz, uno de los cuatro cultivos básicos de la alimentación humana (CONTRERAS, 2003).

El sector mundial de la papa atraviesa grandes cambios. Hasta inicios del decenio de 1990, casi la totalidad de las papas se producían y consumían en Europa, América del Norte y en los países de la antigua Unión Soviética. Desde entonces se ha producido un espectacular aumento de la producción y la demanda de papa en Asia, África y América Latina, donde la producción aumentó de menos de 30 millones de toneladas a principios del decenio de 1960 a más de 165 millones en 2007. China se ha convertido en el primer productor mundial de papa, y poco menos de una tercera parte de todas las papas hoy se cosechan en China y la India (FAO, 2008).

En Chile la papa se planta de Arica a Magallanes, pero la mayor importancia del cultivo se alcanza en las regiones IV y X. La IV Región se caracteriza por la producción de primores, mientras que las Regiones VI y VII destacan por sus producciones de papa consumo e industrial. En la VIII Región destaca Cañete, con producciones de papa consumo y papa semilla corriente. Las Regiones IX y X, en tanto, presentan la mayor superficie de papa del país, con producciones destinadas al consumo, a la industria y a la obtención de papa semilla certificada como corriente (CONTRERAS, 2003).

La papa es una planta dicotiledónea, herbácea y de carácter anual, que también puede ser considerada como perenne debido a su capacidad de reproducirse vegetativamente por medio de tubérculos. Las plantas presentan una parte aérea en la que se produce el crecimiento de tallos, hojas, flores y frutos, y una parte subterránea que comprende el tubérculo semilla, los rizomas, los tubérculos y las raíces (CONTRERAS, 2003). El tubérculo de papa se origina por ensanchamiento de la parte terminal del estolón, en el cual crece por efecto de la acumulación de hidratos de

carbono (CONTRERAS, 1997). Además de acumular reservas es también un órgano de multiplicación (ALONSO, 1996).

FAIGUENBAUM (1987) señala que la papa constituye un producto básico en la alimentación, debido a su alto contenido de hidratos de carbono, vitaminas y minerales. Su aporte energético es dos a cuatro veces superior al del maíz, y seis a diez veces superior al de los restantes cereales. CONTRERAS (2003) señala que mientras más nuevas o pelonas estén las papas al momento de cosecharlas, mayor será su contenido de agua y menor su contenido de sólidos totales. Por esta razón en el CUADRO 2 se presentan rangos porcentuales amplios para los distintos componentes de los tubérculos.

**CUADRO 2 Principales componentes de la papa**

Componente	Rango %	Media
Agua	63,2 – 86,9	75,0
Sólidos totales	13,1 – 36,8	23,7
Proteína	0,7 – 4,6	2,0
Grasa	0,02 – 0,20	0,12
Azúcares reductores	0,0 – 5,0	0,3
Total carbohidratos	13,3 – 30,5	21,9
Fibra cruda	0,17 – 3,48	0,71
Ácidos orgánicos	0,4 – 1,0	0,6
Ceniza	0,4 – 1,9	1,1
Glicoalcaloides (solanina) (*)	0,2 – 41,0	3 – 10
Vitamina C (*)	1,0 – 54,0	10 - 25

(\*) La unidad corresponde a mg por 100 g.

FUENTE: Adaptado de Woolfe, 1987 y de Lisinska y Leszczynski, 1989 por CONTRERAS (2003).

Según ALONSO (1996) la mayoría de la papa producida en el mundo se consume en fresco pero en los países desarrollados cada vez es más alto el porcentaje de papas que se transforman de una u otra manera para su aprovechamiento posterior en los diferentes usos que se le da. Actualmente, en la industria de la papa, aunque las técnicas han evolucionado, los principios siguen siendo los mismos: papas troceadas

congeladas y purés deshidratados, a los que hay que añadir otros sistemas de conservación mediante fritura unos y mediante cocción con posterior extrusión otros.

FAO (2008) señala los diversos fines a los que se destina la papa. Dentro de los usos alimentarios está la papa fresca con diferentes modalidades de preparación, también están los productos alimentarios industriales con valor agregado como las papas congeladas, las hojuelas crocantes de papa, los copos de papa deshidratada y la papa granulada que se obtienen secando la papa cocida y molida, hasta lograr un nivel de humedad del 5% al 8%. Con estos copos se elabora el puré de papas que se vende en cajas. Otro producto deshidratado, la harina de papa, se obtiene de la papa cocida entera y mantiene un sabor característico. La industria alimentaria utiliza la harina de papa, que no contiene gluten pero sí abundante almidón, para aglutinar productos compuestos de diversos tipos de carnes e impartir espesor a salsas y sopas. El almidón de papa, polvo fino y sin sabor, de excelente textura, da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos. Se utiliza para hacer espesas las salsas y los cocidos, y como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas y el helado. En Europa oriental y en los países escandinavos, las papas molidas se someten a tratamiento térmico para convertir su almidón en azúcares que se fermentan y destilan para producir bebidas alcohólicas, como el vodka y aguardientes típicos de esas regiones.

Los usos no alimentarios incluyen el almidón extraído de este cultivo, el cual es ampliamente utilizado por las industrias farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavar los pozos. El almidón de papa es un sustituto 100% biodegradable del poliestireno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables.

**2.4.3 Maíz.** El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única cultivada de este género. Tiene una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia. Puede ser clasificado en distintos tipos según: la constitución del endosperma y del grano, el color del grano, el ambiente en que es cultivado, la madurez y respecto a su uso. Los tipos de maíz más importantes son duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado (PALIWAL, 2001).

Según FAIGUENBAUM (1987), la composición química y el contenido de humedad de los granos, expresados en forma porcentual aproximada es: 12 a 14% de humedad, 10 a 12% de proteínas, 70 a 75% de carbohidratos, 4 a 8% de grasa y 2 a 2,5% de fibra.

FAIGUENBAUM (2003) señala que el maíz es el tercer cultivo del mundo por su producción, después del trigo y el arroz. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (PALIWAL, 2001). La gran cantidad de variedades existentes en el mercado, tanto para grano como para forraje, adaptadas a las condiciones locales de clima y de suelo, hacen posible su cultivo en gran número de países (LLANOS, 1984).

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie fotosintéticamente

eficiente. En los tipos de maíces comunes, el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el escutelo componen el restante 6% (PALIWAL, 2001).

FAIGUENBAUM (1987) señala respecto a la utilización del maíz que éste puede ser usado directamente como grano en alimentación animal, o también como ensilaje, soiling y productos concentrados. Como sub-producto del aceite queda la torta de maíz, alimento concentrado de gran valor nutritivo para el ganado.

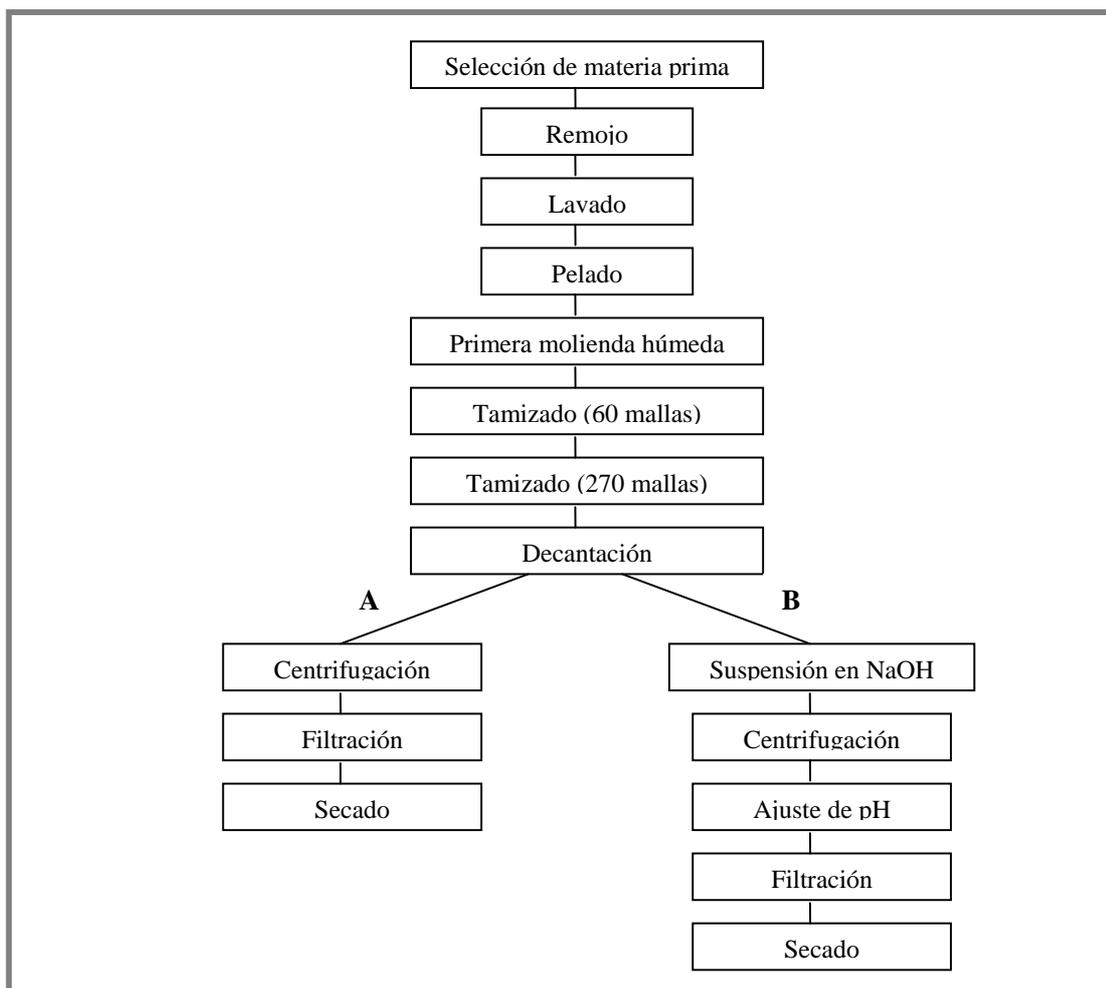
El maíz como alimento humano es usado en una gran variedad de productos, que incluyen tortillas, harinas de maíz, masa, varios bocadillos, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, aceite de maíz, bebidas sin alcohol, cerveza y güisqui. El proceso de molienda húmeda se usa para la producción de almidón puro, endulzantes, dextrosa, fructosa, glucosa y jarabes, incluyendo jarabe de fructosa con proteínas, almidón industrial, fibras, etanol y aceite de maíz a partir del germen (PALIWAL, 2001).

## 2.5 Extracción de almidón

BADUI (1999) señala que unos de los métodos para obtener almidón de manera comercial es mediante la llamada molienda húmeda que se hace con el maíz y que consiste en los siguientes pasos: se limpian los granos y se maceran en agua a 50 °C de 24 a 48 horas (se le puede añadir 0,1 a 0,2% de anhídrido sulfuroso como agente microbiano); el maíz absorbe agua hasta alcanzar un contenido de 45 a 50%, con lo cual se ablanda el grano y facilita su trituración. La suspensión resultante se muele y se filtra, y por diferencia de densidades se separa el almidón de las proteínas. Posteriormente se concentra y se seca.

En el caso de las semillas de piñón, actualmente no se han desarrollado procesos de transformación industrial para extraer su almidón, sí se ha investigado como fuente de almidón de buena calidad. En una investigación desarrollada por DÍAZ (1997) se estudió el efecto de dos métodos de extracción sobre el rendimiento y pureza del almidón extraído de las semillas, además caracterizar física y químicamente los almidones para evaluar su uso. Los métodos utilizados en el estudio para la extracción de almidón se componen de las etapas mostradas en la FIGURA 3.

El estudio concluye que con los métodos empleados es posible obtener almidón de piñones. El tratamiento A es el más adecuado para obtener almidón de araucaria, básicamente porque no ejerce ningún efecto sobre las características físicas, pues no se usa ninguna sustancia química como ocurre al usar el tratamiento B. El almidón obtenido presenta características físicas y químicas adecuadas para ser considerados en la formulación de alimentos tales como flanes, mayonesas, sopas e incluso para la elaboración de jarabes, esto implicaría la factibilidad de hacer una explotación de estos frutos más intensiva y rentable de lo que sucede hoy en día. Sin embargo los mayores valores de rendimiento, pureza y eficiencia se alcanzaron para el tratamiento B.



**FIGURA 3 Flujo para la extracción de almidón de piñón.**

FUENTE: DÍAZ, 1997

Los gránulos de almidón en el caso de la papa, se encuentran libres en el interior de las células, de tal modo que su aislamiento es un proceso relativamente sencillo, ya que el material vegetal se tritura, el almidón se arrastra en corriente de agua, se separa de la suspensión y se deseca (BELITZ y GROSCH, 1997).

## 2.6 Reología

La reología está ahora bien establecida como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, es el estudio de la manera en que los materiales responden a un esfuerzo o deformación aplicada (STEFFE, 1996). Se ocupa preferentemente de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trabaja también con la

fricción entre sólidos, del flujo de polvos e incluso de la reducción a partículas, o molturación (MULLER, 1973).

STEFFE (1996) explica que existen muchos ámbitos en los que se necesitan datos reológicos dentro de la industria alimentaria:

-Cálculos de procesos de ingeniería que involucran una amplia gama de equipamientos tales como tuberías, bombas, extrusores, mezcladores, untadores, intercambiadores de calor, homogenizadores y viscosímetros.

-Determinación de la funcionalidad de ingredientes en el desarrollo de productos.

-Control de calidad en productos intermedios o finales.

-Pruebas de vida útil.

-Evaluación de la textura de los alimentos por correlación de datos sensoriales.

-Análisis reológico de las ecuaciones de estado o ecuaciones constitutivas.

## 2.7 Clasificación de los fluidos

Un fluido es una sustancia que no resiste permanentemente a la distorsión. Si se intenta variar la forma de una masa de fluido se produce un deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras hasta que se alcanza una nueva forma. Durante la variación de la forma, se producen esfuerzos cortantes, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido y de la velocidad de deslizamiento (McCABE *et al.*, 1991).

De acuerdo al comportamiento reológico de los fluidos, éstos pueden clasificarse de la siguiente forma según MULLER (1973):

- Fluidos Newtonianos
- Fluidos No newtonianos
  - Flujo Independiente del tiempo:
    - Pseudoplástico
    - Dilatante
    - Plástico de Bingham
  - Flujo dependiente del tiempo:
    - Tixotrópico
    - Reopéctico
  - Viscoelásticos

## 2.8 Fluidos newtonianos

Se define como aquel para el que la representación de la tensión de cizalladura en función de la velocidad de deformación es una línea recta. Este tipo de líquido carece

de propiedades elásticas, es incompresible (MULLER, 1973). Los gases y la mayor parte de los líquidos son newtonianos (McCABE *et al.*, 1991).

## 2.9 Fluidos no newtonianos

MULLER (1973) define un fluido no newtoniano como aquel que exhibe un flujo uniforme, pero para el que no es constante la relación entre tensión tangencial y velocidad de deformación. La viscosidad no es constante.

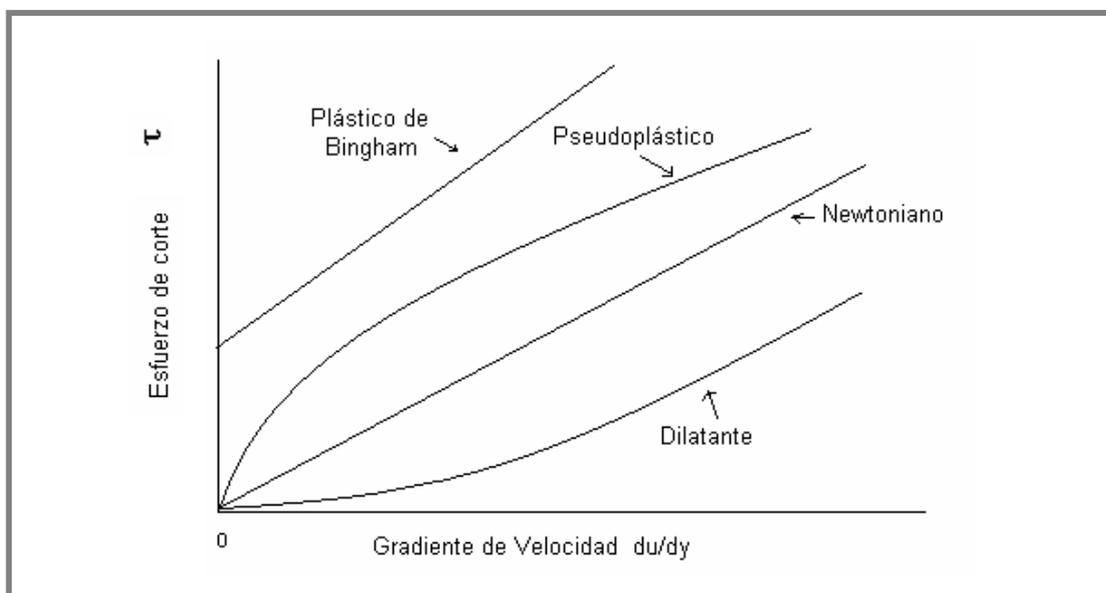
**2.9.1 Fluidos independientes del tiempo.** Los fluidos independientes del tiempo se clasifican en tres grupos: pseudoplásticos, dilatantes y plásticos. Se caracterizan porque la viscosidad aparente depende solamente de la temperatura, la composición del fluido y del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad aplicado, pero nunca del tiempo de aplicación de éste último.

**2.9.1.1 Pseudoplásticos.** Los líquidos pseudoplásticos son menos espesos cuando se someten a altas velocidades de deformación que cuando se cizallan lentamente. La viscosidad aparente depende en ellos de la velocidad de deformación por cizalladura, pero no del tiempo durante el que están sometidos a la tensión cizallante. La velocidad de deformación aumenta en proporciones más altas que la tensión tangencial, de manera que la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación (MULLER, 1973). La velocidad de flujo puede ser incrementada aumentando la fuerza aplicada por vertido, masticación, deglución, bombeo, mezclado, etc. Las moléculas de los polímeros lineales forman soluciones cuya viscosidad disminuye con la fuerza de cizalla (FENNEMA, 2000). En la FIGURA 4 se observa la curva de un fluido de estas características, la cual pasa por el origen y es cóncava hacia abajo para bajos esfuerzos cortantes, haciéndose recta para esfuerzos cortantes elevados (McCABE *et al.*, 1991).

**2.9.1.2 Dilatantes.** La dilatancia es un fenómeno de espesamiento independiente del tiempo que se da a altas velocidades de deformación; se trata del fenómeno opuesto a la pseudoplasticidad. La gráfica no es lineal, pero los valores de esfuerzo de corte y relación de deformación están unívocamente relacionados (espesamiento de estado estacionario). La viscosidad aparente aumenta al aumentar la velocidad de deformación (MULLER, 1973). En la FIGURA 4, se observa esta curva que es cóncava hacia arriba para bajos esfuerzos cortantes y se hace lineal para esfuerzos cortantes elevados (McCABE *et al.*, 1991).

**2.9.1.3 Plástico de Bingham.** Entre los alimentos típicamente plásticos se encuentran el puré de papa y la crema batida. Son productos que mantienen su forma bajo la acción de la gravedad. Sin embargo, cuando actúan sobre ellos fuerzas suficientemente más grandes fluyen, casi como si fueran líquidos. Cuando la acción de la fuerza cesa, mantienen su forma y dejan de fluir. En términos reológicos, un

producto plástico fluye cuando la tensión excede de un valor límite. El producto plástico ideal es el modelo de Bingham (MULLER, 1973).



**FIGURA 4 Esfuerzo cortante frente a gradiente de velocidad para fluidos newtonianos y no newtonianos.**

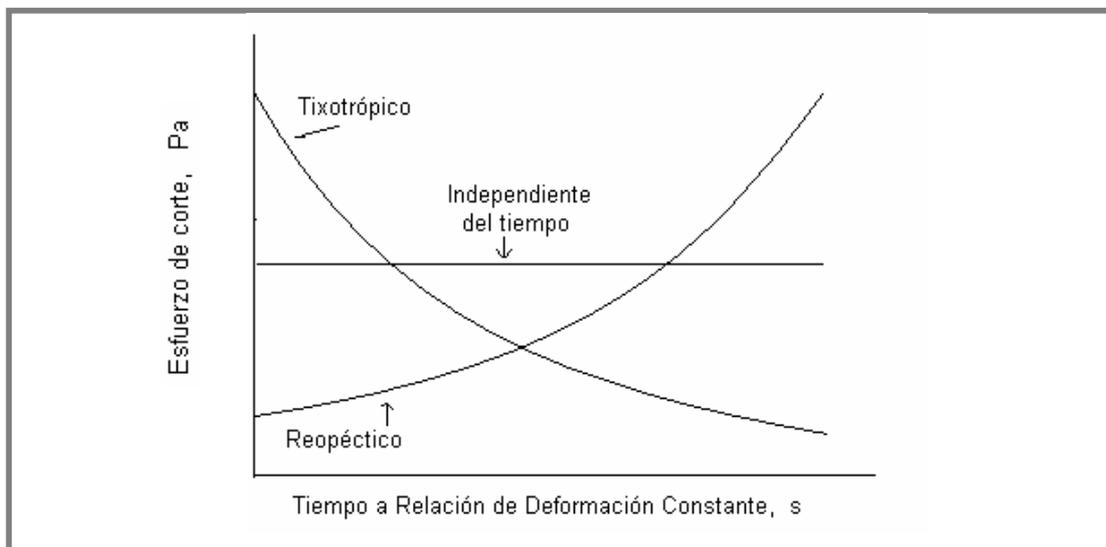
FUENTE: McCABE *et al.*, (1991)

**2.9.2 Fluidos dependientes del tiempo.** La viscosidad aparente varía no sólo con el esfuerzo de corte, sino que también para un esfuerzo de corte constante, varía con el tiempo de duración de la relación de deformación; clasificándose en fluidos tixotrópicos y reopécticos (Rao, 1977; Barbosa-Cánovas *et al.*, 1993 citados por CÁRCAMO, 2005).

**2.9.2.1 Tixotrópicos.** La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo. La representación gráfica que le corresponde es una curva similar a la de la pseudoplasticidad, en cuanto que la viscosidad aparente desciende a medida que aumenta la velocidad de deformación. Difiere, sin embargo, de ella en que el descenso de viscosidad aparente no está relacionado exclusivamente con la velocidad de deformación, sino también con el tiempo (MULLER, 1973).

**2.9.2.2 Reopécticos.** La reopexia es un espesamiento dependiente del tiempo, en el que es curvilíneo el diagrama de esfuerzo de corte versus relación de deformación como se observa en la FIGURA 5 y en el que estos dos parámetros no están unívocamente relacionados (MULLER, 1973). Las sustancias reopécticas se comportan de forma contraria a las tixotrópicas, de forma que para una velocidad de

cizalladura constante el esfuerzo cortante aumenta con el tiempo. En general, las estructuras originales se recuperan con el tiempo (McCABE *et al.*, 1991).



**FIGURA 5 Comportamiento de fluidos dependientes del tiempo.**

FUENTE: STEFFE (1996)

**2.9.3 Viscoelásticos.** En los productos viscoelásticos los componentes elástico y viscoso se manifiestan simultáneamente bajo las condiciones operacionales y la elasticidad es muy fácilmente detectable a tensiones altas, lo que contrasta con el comportamiento de los productos plásticos. En los alimentos viscoelásticos es frecuente que se de una recuperación parcial, porque la red tridimensional elástica se desintegra bajo el efecto de la tensión. Cuanto más completa y resistente sea esta red, tanto más acusada será la elasticidad. Cuanto más fácil se desintegre la red, mayor será el componente viscoso (MULLER, 1973).

## 2.10 Leyes de potencia

MULLER (1973) señala que en los sistemas dilatantes y pseudoplásticos la relación esfuerzo de corte – relación de deformación no viene expresada por una línea recta, pero es única. A cada valor de esfuerzo de corte le corresponde un solo valor de relación de deformación. Por esta razón la gráfica se puede describir matemáticamente así:

$$\tau = K\gamma^n \quad (\text{ec. 2-1})$$

Donde K y n son constantes, K ha sido denominada “índice de consistencia” y n “índice de comportamiento reológico o de flujo”. Este último constituye una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Si n=1, el producto es newtoniano y K= coeficiente de viscosidad; si n es mayor que 1, se produce espesamiento y el producto

es dilatante; si  $n$  es menor que 1, se produce aclaración y el material es pseudoplástico. La ecuación no permite la extrapolación de la gráfica.  $K$  y  $n$  no tienen bases físicas, son una pura descripción matemática de una gráfica experimental.

El CUADRO 3 muestra algunos ejemplos de flujos de alimentos según la clasificación reológica y sus constantes fundamentales.

**CUADRO 3 Constantes fundamentales para distintos tipos de flujos de alimentos**

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

FUENTE: Adaptado de RHA (1978) y STEFFE (1996)

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Lugar de la investigación

El desarrollo de la parte experimental de esta investigación se realizó en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) de la Universidad Austral de Chile.

#### 3.2 Materia prima y origen

A continuación se mencionan las fuentes de donde se aislaron los diferentes almidones.

- Semillas de *Araucaria araucana* (Mol) K. Koch, obtenida en la localidad de Curacautín, IX Región de la Araucanía, Chile.
- Tubérculos de *Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes, cultivar azul, obtenida en dependencias de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, XIV Región de los Ríos, Chile.
- Almidón comercial de *Zea Mays* L., correspondiente a Maizena Dropa obtenida de supermercados de la ciudad de Valdivia, Chile.

#### 3.3 Equipos

-Estufa

Marca: MEMMERT

Modelo: UM300

-Espectrofotómetro

Marca: SPECTRONIC

Modelo: Genesys 5

-Mufla

Marca: FELISA

Modelo: Fé-341

-Balanza analítica

Marca: CHYO

Modelo: JK 200

-Calorímetro diferencial de barrido

Marca: METTLER TOLEDO

Modelo: DSC823<sup>e</sup>

-Balanza analítica

Marca: METTLER TOLEDO

Modelo: XS205 Dual Range

-Molino

Marca: RETSCH

Modelo: ZM 1

-Licuadora

Marca: MOULINEX

Modelo: D 56

-Viscosímetro

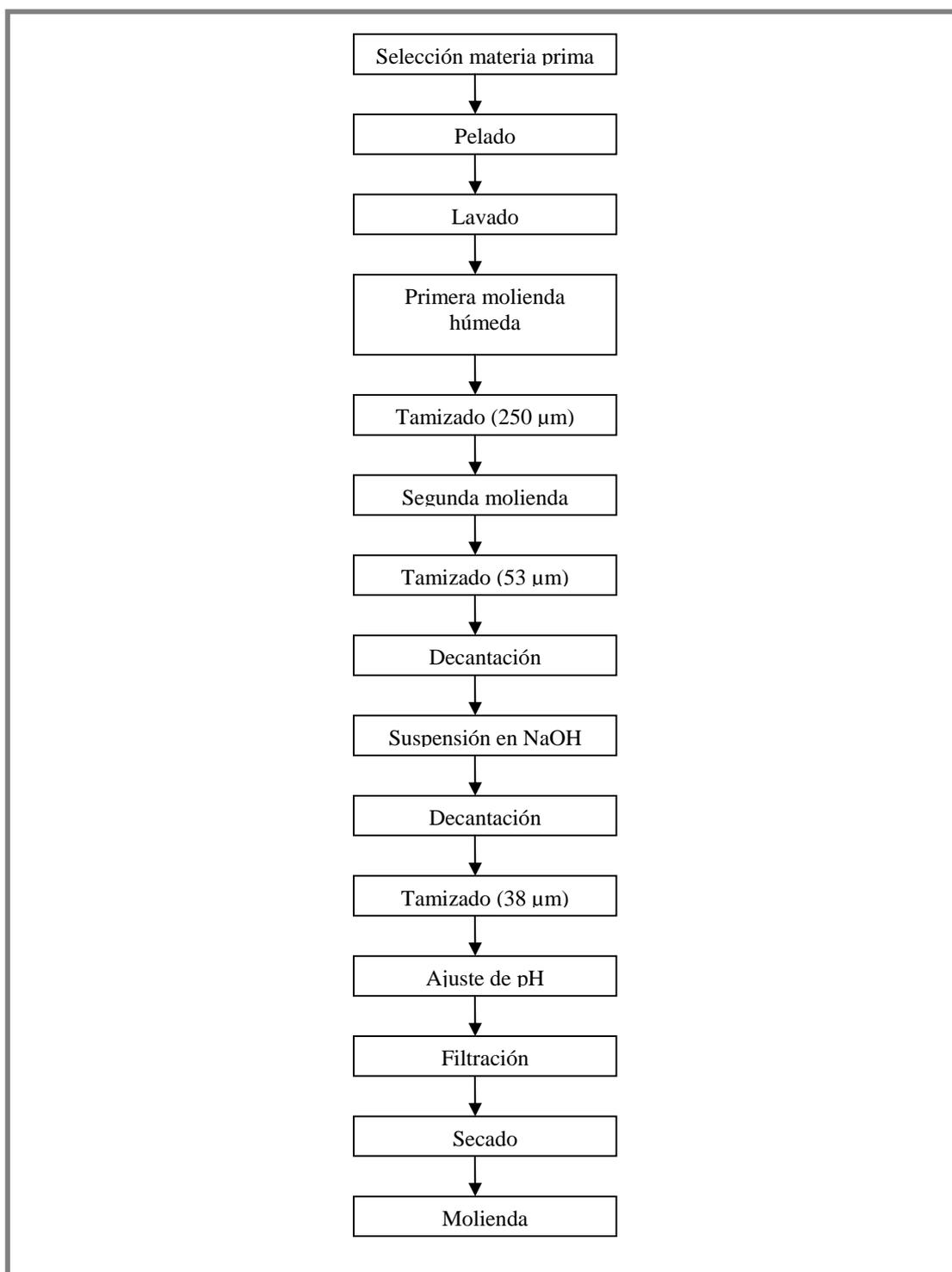
Marca: FUNGILAB S.A

Modelo: Visto Star R

### 3.4 Metodología

Se estableció una línea de flujo definida de acuerdo a características específicas para extraer el almidón desde sus fuentes naturales.

**3.4.1 Extracción de almidón de piñón.** El método de extracción del almidón de piñón se basó en el descrito por DÍAZ (1997), con algunas modificaciones menores. En la FIGURA 6, se observa la línea de flujo para la obtención del almidón. A continuación se detalla cada etapa.

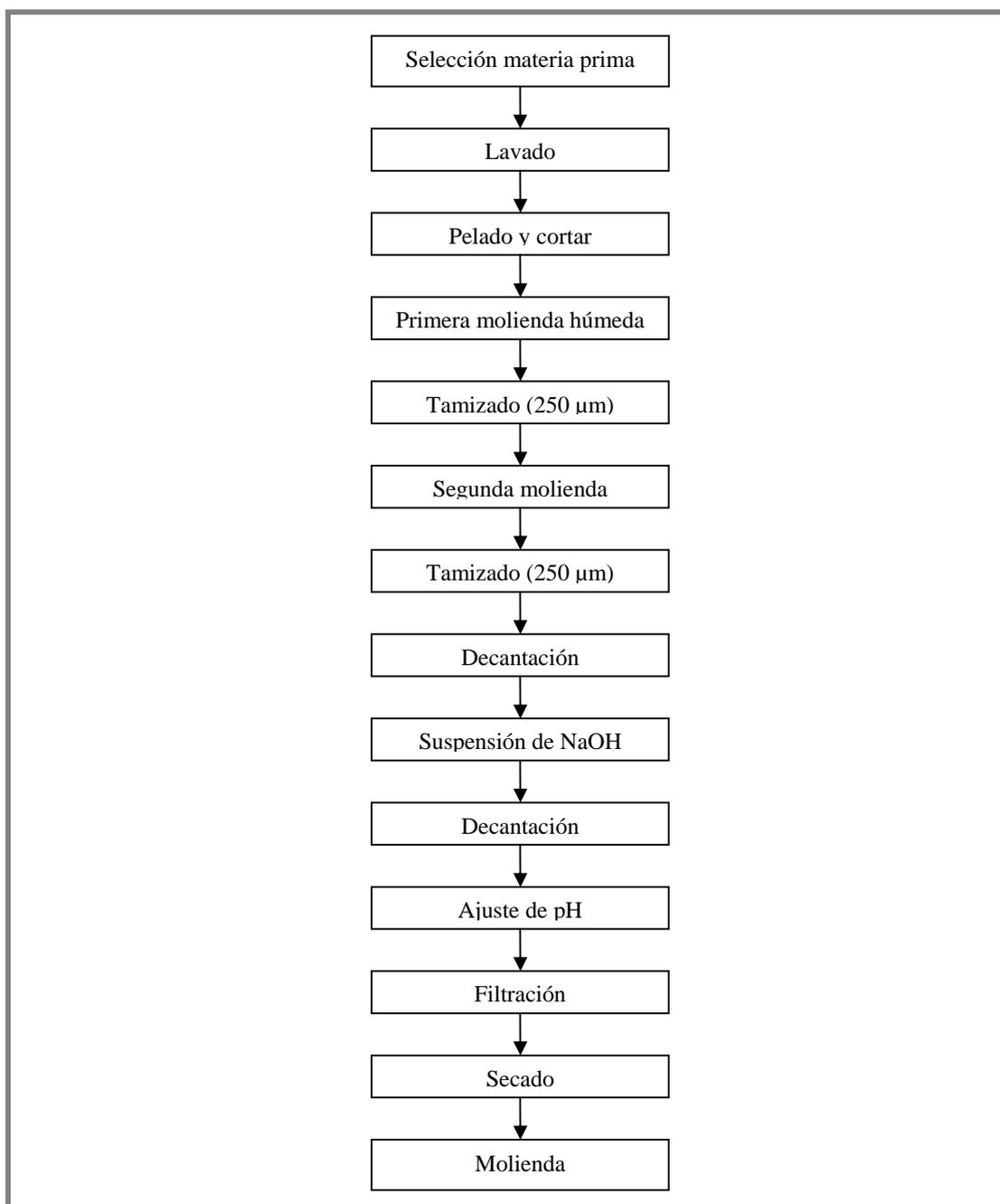


**FIGURA 6** Línea de extracción del almidón de piñón.

- **Selección de la materia prima.** Cada muestra consistió en 3000 gramos de piñones obtenidos aleatoriamente.
- **Pelado.** Se retiró la cubierta y/o testa en forma manual, se fueron descartando aquellos frutos que presentaban daño por hongos o de tipo mecánico.
- **Lavado.** Se lavaron los piñones pelados con agua potable para retirar restos de cubierta que pudiesen quedar presentes.
- **Primera molienda húmeda.** En una licuadora se mezclaron los frutos con agua en una relación 1:2 formando una masa húmeda.
- **Tamizado (250  $\mu\text{m}$ ).** El resultado de la primera molienda se hizo pasar por un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  de abertura arrastrando la mayor cantidad de almidón con grandes cantidades de agua. La masa que quedó retenida en el tamiz fue nuevamente molida en la licuadora con agua en proporción 1:2 para luego pasar en el tamiz de 250  $\mu\text{m}$ .
- **Segunda molienda.** La muestra líquida que pasó a través del tamiz de 250  $\mu\text{m}$  se pasó por la licuadora para dividir aun más el gránulo de almidón.
- **Tamizado (53  $\mu\text{m}$ ).** El resultado de la segunda molienda se hizo pasar a través del tamiz de 53  $\mu\text{m}$  agregando agua para arrastrar la mayor cantidad de almidón.
- **Decantación.** El líquido que pasó a través del tamiz anterior se dejó decantar por 17 horas, transcurrido ese tiempo se retiró el sobrenadante por sifonaje.
- **Suspensión de NaOH.** Se agregaron 6 litros de una solución de NaOH al 0,2% p/v con el objetivo de solubilizar las proteínas y se dejó decantar por 5 horas. Se retiró el sobrenadante.
- **Tamizado (38  $\mu\text{m}$ ).** Se pasó a través de un tamiz de 38  $\mu\text{m}$  para eliminar residuos de cáscara presente que afectaban al color y pureza del almidón.
- **Ajuste de pH.** Se agregó ácido clorhídrico concentrado y de concentración 1 N para bajar el pH de la muestra hasta pH 6,0.
- **Filtración.** La muestra fue filtrada al vacío en un embudo Büchner usando papel Whatman N° 4.
- **Secado.** La muestra de almidón depositada en el papel filtro fue dejada en el mismo papel y llevada a una estufa a  $50 \pm 2$  °C por 24 horas.
- **Molienda.** La muestra ya seca fue retirada del papel Whatman y se hizo pasar por un molino para luego ser envasada.

**3.4.2 Extracción de almidón de papa.** El método de extracción del almidón de papa se basó en los métodos descritos por RINCÓN *et al.* (1999) y por JAYAKODY *et al.* (2005), con algunas modificaciones menores. En la FIGURA 7, se observa la línea de flujo para la obtención del almidón. Cada etapa es detallada a continuación.

- **Selección de la materia prima.** Cada muestra consistió en 3000 gramos de papas obtenidas aleatoriamente.
- **Lavado.** Se lavaron las papas con agua potable para retirar la tierra presente.



**FIGURA 7** Línea de extracción del almidón de papa.

- ***Pelado.*** Se retiró la cáscara en forma manual y las papas fueron cortadas en cubos de 2 a 3 cm.
- ***Primera molienda húmeda.*** En una licuadora se mezclaron las papas y agua en una relación de 1:1.

- **Tamizado (250  $\mu\text{m}$ ).** El resultado de la primera molienda se hizo pasar por un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  agregando grandes cantidades de agua para arrastrar la mayor cantidad de almidón presente.
- **Segunda molienda.** La muestra retenida por el tamiz fue nuevamente mezclada con agua (1:1) en una licuadora.
- **Tamizado (250  $\mu\text{m}$ ).** La masa húmeda de la segunda molienda fue pasada por el tamiz de 250  $\mu\text{m}$  agregando agua.
- **Decantación.** La muestra se dejó decantar por 6 horas para luego retirar el sobrenadante. Se agregaron 2 litros de agua y se dejó decantar nuevamente hasta obtener una capa densa de almidón en el fondo del recipiente y un sobrenadante claro.
- **Suspensión en NaOH.** Luego de retirar el sobrenadante se agregaron 6 litros de una solución de NaOH al 0,02% p/v para solubilizar las proteínas y se dejó decantar por 6 horas.
- **Ajuste de pH.** Luego de retirar el sobrenadante se agregaron 2 litros de agua y se ajustó el pH con HCl 2 N hasta obtener un pH 7,0.
- **Filtración.** La muestra fue filtrada al vacío en un embudo Büchner usando papel Whatman N° 4.
- **Secado.** La muestra de almidón depositada en el papel filtro fue dejada en el mismo papel y llevada a una estufa a  $45 \pm 2$  °C por 24 horas.
- **Molienda.** La muestra ya seca fue retirada del papel Whatman y se hizo pasar por un molino para luego ser envasada.

**3.4.3 Análisis químicos.** Los almidones extraídos fueron sometidos a diferentes análisis de tipo químico como se mencionan a continuación.

**3.4.3.1 Humedad.** Para determinar la humedad de la materia prima, piñones y papas, las muestras fueron sometidas por 13 horas a 50 °C en una estufa, luego se elevó la temperatura a 105 °C hasta peso constante.

Las muestras de almidón de piñón y papa fueron colocadas en una estufa a 70 °C por 14 horas hasta peso constante. El almidón de maíz fue sometido a 102 °C por 5 horas hasta peso constante.

**3.4.3.2 Proteínas.** Obtenidas por método Kjeldhal.

**3.4.3.3 Cenizas.** Obtenida por calcinación a 550 °C.

**3.4.3.4 Contenido de amilosa y amilopectina.** Se utilizó el método colorimétrico de JULIANO (1971) con el espectrofotómetro Spectronic Genesys 5 a través de lecturas de absorbancia a 620 nm.

**3.4.4 Análisis comportamiento reológico.** Para determinar el comportamiento reológico y las constantes reológicas de los distintos tipos de almidón, se prepararon soluciones al 4 y 6 % p/p. Estas soluciones fueron calentadas hasta 85 °C y luego enfriadas hasta 25 °C.

Se midió la VNE (Viscosidad Newtoniana Equivalente) a cuatro temperaturas, 85, 60, 40 y 25 °C y a siete velocidades diferentes de rotación (10, 12, 20, 30, 50, 60 y 100 rpm). De acuerdo a la viscosidad de la solución se fueron cambiando los husillos para obtener las lecturas correspondientes.

El cálculo de las constantes reológicas se obtuvo a través del método de conversión MITSCHKA (1982) que establece las relaciones de esfuerzo de corte versus relación de deformación como funciones de viscosidad para viscosímetros Brookfield RVT o equivalentes, como el Visco Star R. Para ello, se debe comenzar obteniendo el factor de conversión establecido por el método que relaciona la velocidad de rotación y que es específico para cada tipo de husillo como se puede observar en el CUADRO 4.

**CUADRO 4 Ecuaciones para encontrar el factor de conversión para la transformación de la VNE en función de la velocidad de rotación**

Número de Husillo	Ecuación de potencia	Coefficiente de determinación r <sup>2</sup>
1	$FC = 100 N_i^{-1}$	1,00
2	$FC = 400 N_i^{-1}$	1,00
3	$FC = 1000 N_i^{-1}$	1,00
4	$FC = 2000 N_i^{-1}$	1,00
5	$FC = 4000 N_i^{-1}$	1,00
6	$FC = 10000 N_i^{-1}$	1,00
7	$FC = 40000 N_i^{-1}$	1,00

FUENTE: Brookfield Engineering Laboratories, Inc.

El valor del factor de conversión (FC), luego debe ser ingresado a la siguiente fórmula:

$$\alpha_i = \frac{VNE}{FC} \quad (\text{ec. 3-1})$$

Este valor de  $\alpha_i$  se debe convertir a esfuerzos de corte (en Pa) para cada uno de los husillos empleados usando la fórmula que se muestra a continuación, donde KAT es una constante que se obtiene del CUADRO 5:

$$\sigma_i = \text{KAT} \cdot \alpha_i \quad (\text{ec. 3-2})$$

**CUADRO 5 Factores de conversión para los husillos de los viscosímetros Brookfield RVT (bajo condiciones estándar de medición)**

Número del husillo		1	2	3	4	5	6	7	
<b>KAT</b>		0,035	0,119	0,279	0,539	1,05	2,35	8,4	
<b>n =</b>	0,1	<b>KNY</b>	1,728	1,431	1,457	1,492	1,544	1,366	1,936
	0,2		0,967	0,875	0,882	0,892	0,907	0,851	1,007
	0,3		0,705	0,656	0,656	0,658	0,663	0,629	0,681
	0,4		0,576	0,535	0,530	0,529	0,528	0,503	0,515
	0,5		0,499	0,458	0,449	0,445	0,442	0,421	0,413
	0,6		0,449	0,404	0,392	0,387	0,382	0,363	0,346
	0,7		0,414	0,365	0,350	0,343	0,338	0,320	0,297
	0,8		0,387	0,334	0,317	0,310	0,304	0,286	0,261
	0,9		0,367	0,310	0,291	0,283	0,276	0,260	0,232
	1,0		0,351	0,291	0,270	0,262	0,254	0,238	0,209

FUENTE: MITSCHKA, 1982

Posteriormente, para obtener el valor del índice de comportamiento reológico (n), se grafica  $\log N_i$  versus  $\log \sigma$ , valor que corresponde a la pendiente de la ecuación de la recta obtenida. Este valor es ingresado a las ecuaciones de potencia mostradas en el CUADRO 6, las cuales se obtuvieron a partir de los valores de n versus KNY del CUADRO 5 entregado por el método de MITSCHKA (1982).

Usando los valores de KNY para cada valor de índice de comportamiento reológico (n) se puede obtener el valor correspondiente a la relación de deformación para cada velocidad de rotación, con la siguiente fórmula:

$$\gamma = \text{KNY}(n) \cdot N_i \quad (\text{ec. 3-3})$$

**CUADRO 6 Ecuaciones y coeficientes de determinación de las gráficas de  $n$  versus KNY para cada husillo, obtenidas a partir de los datos del cuadro 5**

Número de husillo	Ecuación de potencia	Coefficiente de determinación ( $r^2$ )
1	$\text{KNY} = 0,3261(n)^{-0,6870}$	0,9888
2	$\text{KNY} = 0,2859(n)^{-0,6944}$	0,9996
3	$\text{KNY} = 0,2697(n)^{-0,7345}$	1,0000
4	$\text{KNY} = 0,2624(n)^{-0,7583}$	0,9999
5	$\text{KNY} = 0,2554(n)^{-0,7856}$	0,9999
6	$\text{KNY} = 0,2436(n)^{-0,7660}$	0,9985
7	$\text{KNY} = 0,2105(n)^{-0,9689}$	0,9999

Una vez obtenidos los valores de esfuerzo de corte y relación de deformación, se pueden obtener los reogramas correspondientes para observar el comportamiento reológico de las soluciones estudiadas y la pendiente de la ecuación de estas curvas corresponde al coeficiente de consistencia,  $K$ . Además se puede obtener el valor de la viscosidad aparente, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (\text{ec. 3-4})$$

**3.4.5 Calorimetría diferencial de barrido.** Las características térmicas de gelatinización y retrogradación fueron analizadas a través de un calorímetro diferencial de barrido. Se pesó sobre un crisol de aluminio de 40 $\mu$ L de capacidad, 3,5 mg de almidón (base seca) y se agregó agua destilada hasta obtener una suspensión con 70% de agua.

Los crisoles fueron sellados herméticamente y mantenidos a temperatura ambiente durante una hora. Una vez colocadas las muestras dentro del equipo, éstas fueron calentadas desde 10 a 120 °C a una velocidad de 10 K/minuto y enfriadas a la misma velocidad hasta 4 °C. Durante siete días, los crisoles con las muestras se mantuvieron refrigerados a 4 °C, para luego repetir el procedimiento y realizar los análisis de

retrogradación bajo los mismos parámetros de temperatura y velocidad mencionados anteriormente. Fueron definidas las siguientes variables:

$T_0$  (°C): Temperatura inicial.

$T_p$  (°C): Temperatura peak.

$T_c$  (°C): Temperatura final.

$\Delta H_{gel}$ : Entalpía de gelatinización

$\Delta H_{ret}$ : Entalpía de retrogradación

Para obtener un porcentaje de retrogradación se calculó mediante la siguiente fórmula que relaciona la entalpía de gelatinización y retrogradación:

$$\% R = \left( \frac{\Delta H_{ret}}{\Delta H_{gel}} \right) \times 100 \quad (\text{ec. 3-5})$$

**3.4.6 Diseño experimental y análisis estadístico.** El diseño experimental correspondió a uno completamente aleatorizado con tres tratamientos (las fuentes de almidón) y tres repeticiones. Los análisis fueron un ANDEVA y para el caso de diferencias significativas, se usó una prueba de rango múltiple de Tukey con un 95 % de confianza. Se usó el software Statgraphics 5.1 para el manejo de los datos y los análisis estadísticos.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Características físicas y químicas de los almidones extraídos

Las características físicas y químicas tales como rendimientos, composición proximal y contenido de amilosa y amilopectina son importantes para entender el comportamiento y la funcionalidad de una sustancia tan utilizada en la industria alimentaria como lo es el almidón.

**4.1.1 Rendimientos.** La primera etapa durante el desarrollo de esta investigación fue la extracción del almidón desde sus fuentes naturales. Como se puede observar en el CUADRO 7, el rendimiento del almidón extraído de piñones (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch) fue de un 26,37%, valor que es un tanto menor comparado con el obtenido por DÍAZ (1997), que fue de 29,80%. HENRÍQUEZ *et al.* (2008) presentó un rendimiento mayor de 35,9%. El porcentaje de rendimiento es mucho mayor cuando se expresa en base seca, el cual correspondió a 47,29%, ya que la humedad presentada por el piñón como materia prima fue de 44,24%.

Al extraer almidón desde papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes), el rendimiento fue mucho más bajo en comparación al almidón de piñón, obteniéndose un 13,45% en base húmeda. Considerando una humedad de 80,17% presente en la papa como materia prima, se obtuvo un rendimiento en base seca de 67,81%.

**CUADRO 7 Rendimientos en la extracción de almidón**

Tipo de Almidón	Rendimiento en Base Húmeda* (%)	Rendimiento en Base Seca* (%)
Piñón	26,37 ± 1,52	47,29 ± 2,73
Papa	13,45 ± 1,14	67,81 ± 5,73

\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± Desviación estándar

**4.1.2 Composición proximal.** Una vez obtenidas las muestras de almidón de piñón y de papa, se sometieron a distintos análisis químicos para conocer su composición proximal como se observa en el CUADRO 8. Se decidió dejar la humedad cercana al 10 %, a diferencia de la obtenida por DÍAZ (1997), donde el almidón de piñón contenía un 6,5% de humedad. Los valores de humedad para productos como el almidón deben ser menores al 10% para que se mantenga en forma estable y no desarrolle hongos durante su almacenamiento.

El bajo porcentaje de proteínas, 0,58% para almidón de piñón y 0,77% para almidón de papa, indican que hubo una buena separación de las proteínas presentes durante la etapa de aislamiento debido al uso de soluciones de hidróxido de sodio.

**CUADRO 8 Composición proximal de almidones de piñón, papa y maíz**

Tipo de Almidón	Humedad* (%)	Proteínas (%)	Cenizas* (%)	Almidón puro (%)
Piñón	10,33 ± 0,38	0,58	0,13 ± 0,05	88,96
Papa	9,59 ± 0,22	0,77	0,12 ± 0,03	89,52
Maíz	11,97 ± 0,10	0	0,01	88,02

\* Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± Desviación estándar

**4.1.3 Contenido de amilosa y amilopectina.** Las muestras de almidón fueron analizadas por espectrofotometría de acuerdo al método de JULIANO (1971), con el uso de una curva estándar, de la cual se obtuvo las concentraciones de amilosa que luego fueron llevadas a porcentajes para cada tipo de almidón. El contenido de amilopectina se obtuvo por diferencia como se observa en el CUADRO 9.

**CUADRO 9 Contenido de amilosa y amilopectina**

Tipo de Almidón	Amilosa* (%)	Amilopectina* (%)
Piñón	46,27 ± 0,34	53,73 ± 0,34
Papa	47,79 ± 0,48	52,21 ± 0,48
Maíz	42,58 ± 0,79	57,42 ± 0,79

\*Valores corresponden a media de tres repeticiones ± Desviación estándar

Las tres muestras de almidón presentaron elevados porcentajes de amilosa respecto a los valores entregados por la bibliografía. En el caso del almidón de piñón, se encontró un contenido de 46,27 y 53,73% de amilosa y amilopectina, respectivamente. Estos valores son levemente superiores a los encontrados por HENRÍQUEZ *et al.* (2008), quienes obtuvieron un 42,1% de amilosa y un 57,9% de amilopectina. Fernández (1994) citado por DÍAZ (1997) obtuvo valores de concentración de amilosa en arvejas que oscilaban entre 45,94 y 51,29% y en garbanzo valores entre 41,16 y 50,28%.

De los tres tipos de almidón, los valores más altos de contenido de amilosa fueron encontrados en el almidón de papa, el cual fue de 47,79%, valor mucho mayor a los presentados por KAUR *et al.* (2007) en una investigación realizada en diferentes variedades de papa donde el contenido de amilosa varió entre 15 y 23,1%. Estas diferencias pueden deberse a diversos factores como genotipo, condiciones ambientales o métodos de aislación del almidón. TOFIÑO *et al.* (2006) señala que existen investigaciones en papa que indican que los contenidos de amilosa superiores al 60% se deben a la inhibición de dos isoformas de la enzima de ramificación del almidón (SBE I y SBE II). La SBE es una enzima que está involucrada en la ruta de biosíntesis del almidón, presenta múltiples isoformas que varían entre especies. La ausencia de esta enzima ocasiona varios efectos como bajas concentraciones de amilopectina y almidón pero elevada cantidad de azúcares (Baguma *et al.*, 2003; Baguma, 2004 citados por TOFIÑO *et al.*, 2006).

El contenido de amilosa en el almidón de maíz fue de 42,58%, valor muy superior a los entregados por SINGH y SINGH (2007) en una investigación realizada en diferentes variedades de maíz, donde el porcentaje de amilosa varió entre 16,9 y 21,3%. Estas diferencias pueden atribuirse a las variedades del maíz, factores ambientales o lugar de cultivo.

## 4.2 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de gelatinización y de retrogradación fueron evaluadas por una técnica muy utilizada hoy en día, que corresponde a la calorimetría diferencial de barrido (DSC), la cual mide la energía absorbida o liberada por una muestra cuando ocurre una transición de fase. Los parámetros y termogramas de las muestras de almidones analizados se detallan a continuación.

**4.2.1 Propiedades térmicas de gelatinización.** Las temperaturas iniciales ( $T_0$ ), peak ( $T_p$ ) y de conclusión ( $T_c$ ) y entalpía ( $\Delta H_{gel}$ ) para la gelatinización de las muestras de almidón obtenidas se resumen en el CUADRO 10.

**CUADRO 10 Propiedades de gelatinización para almidones de piñón, papa y maíz**

Tipo de Almidón	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H_{gel}$ (J/g)
Piñón*	60,04 ± 0,29 <sup>b</sup>	65,36 ± 0,44 <sup>b</sup>	73,90 ± 0,19 <sup>b</sup>	12,48 ± 1,35 <sup>a</sup>
Papa*	58,17 ± 0,29 <sup>a</sup>	62,62 ± 0,02 <sup>a</sup>	69,28 ± 0,27 <sup>a</sup>	14,56 ± 0,53 <sup>b</sup>
Maíz*	66,12 ± 0,15 <sup>c</sup>	70,81 ± 0,21 <sup>c</sup>	77,13 ± 0,07 <sup>c</sup>	11,64 ± 0,14 <sup>a</sup>

\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± Desviación estándar  
Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Fujita *et al.* (1992), Liu *et al.* (1991), Russel y Juliano (1983) citados por AGAMA-ACEVEDO *et al.* (2005) señalan que la transición observada en cada análisis corresponde a la disociación de las moléculas de amilosa y amilopectina dentro de los gránulos de almidón, así como a la lixiviación de amilosa hacia la fase acuosa o continua.

En el presente estudio se observaron diferencias significativas entre los tres tipos de almidón para  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  y  $\Delta H_{gel}$  ( $p > 0.05$ ). Los valores más bajos de  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  se dieron en el almidón de papa cuyos promedios fueron 58,17; 62,62 y 69,28 °C, respectivamente. Sin embargo, mostró el mayor  $\Delta H_{gel}$  (14,56 J/g). Estos resultados son similares a los publicados por KAUR *et al.* (2007) en una investigación realizada en almidones extraídos de diferentes variedades de papa. Los tres primeros parámetros obtenidos por OTTENHOF *et al.* (2004) en su investigación son levemente mayores ( $T_o=61,1$  °C;  $T_p=65,7$  °C y  $T_c=70,9$  °C).

Los valores de  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  y  $\Delta H_{gel}$  intermedios fueron 60,04; 65,36; 73,90 °C y 12,48 J/g respectivamente para el almidón de piñón y los valores de  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  más altos se presentaron en el almidón de maíz (66,12; 70,81 y 77,13 °C, respectivamente), pero presentó el valor más bajo de  $\Delta H_{gel}$ , el cual promedió 11,64 J/g. Los resultados obtenidos en el almidón de maíz son similares a los publicados por SANDHU y SINGH (2007) para distintas variedades de maíz. SRICHUWONG *et al.* (2005) reportaron una temperatura inicial de gelatinización más baja (62,6 °C), una temperatura de finalización de gelatinización y una entalpía más alta (81,3 °C y 16,9 J/g) para almidón de maíz.

En cuanto a las propiedades térmicas del almidón de piñón, la bibliografía no arroja estudios en esta especie que sean similares para poder comparar los resultados obtenidos.

Noda *et al.* (1996) citado por KAUR *et al.* (2007) han postulado que los parámetros calculados por el DSC ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  y  $\Delta H_{gel}$ ) están influenciados por la arquitectura molecular de la región cristalina la cual corresponde a la distribución de las cadenas cortas de amilopectina y no a la proporción de la región cristalina que corresponde a la razón amilosa/amilopectina. Kim y Wiesenborn (1995) y Jane *et al.* (1999) citados por KAUR *et al.* (2007) reportaron que la forma del gránulo, la proporción gránulos grandes y pequeños y la presencia de ésteres de fosfato afectan la entalpía de gelatinización de los almidones.

Las variaciones en las entalpías reflejan la fusión de los cristalitos de amilopectina, estas variaciones podrían representar diferencias en la unión de fuerzas entre las dobles hélices que forman los cristalitos de amilopectina, lo que resulta en diferentes alineaciones de los puentes de hidrogeno dentro de las moléculas de almidón (McPherson y Jane (1999) citado por SANDHU y SINGH (2007)). Tester y Morrison (1990) citado por SHUJUN *et al.* (2006) postularon que  $\Delta H_{gel}$  refleja la medida general de la cristalinidad de la amilopectina y es un indicador de la pérdida de orden molecular dentro del gránulo.

Las diferencias en las temperaturas de gelatinización se pueden atribuir a las diferencias en el contenido de amilosa, tamaño, forma y distribución de los gránulos de almidón (SHUJUN *et al.*, 2006). Según ARAUJO de VC *et al.* (2004) las diferencias en las temperaturas de gelatinización del almidón de papa y de maíz sugieren que en el

almidón de papa predomina una mayor cantidad de enlaces débiles y un menor grado de cristalinidad y por lo tanto, gránulos muy frágiles que se destruyen fácilmente.

Las curvas de gelatinización analizadas por el software del equipo de calorimetría diferencial de barrido para obtener los parámetros térmicos de las tres repeticiones de cada tipo de almidón se muestran en la FIGURA 8. Se puede observar en las curvas térmicas del almidón de piñón que la muestra 2 absorbe menos calor que las muestras 1 y 3, la razón posible de este comportamiento puede ser la cantidad de agua presente en las soluciones, a menor cantidad de agua menor es la absorción de calor. También se observan estas diferencias de absorción de calor en las muestras de almidón de papa. Las curvas de almidón de maíz tienen un comportamiento más regular. Es importante destacar que la repetibilidad de las mediciones presenta peaks y rangos de temperaturas similares entre las fuentes de almidón de la misma especie y un aparente aumento del calor específico.

**4.2.2 Propiedades térmicas de retrogradación.** En el CUADRO 11 se presentan los valores de temperatura inicial ( $T_0$ ), peak ( $T_p$ ) y conclusión ( $T_c$ ) de gelatinización y entalpía de los almidones retrogradados ( $\Delta H_{ret}$ ), además el porcentaje de retrogradación (%R) definido como el cociente entre entalpía de retrogradación y entalpía de gelatinización por cien (Ver ec. 3-5).

**CUADRO 11 Propiedades de retrogradación para almidones de piñón, papa y maíz**

Tipo de Almidón	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H_{ret}$ (J/g)	%R
Piñón**	43,76 ± 0,22 <sup>a</sup>	55,85 ± 0,19 <sup>a</sup>	66,27 ± 0,25 <sup>b</sup>	5,38 ± 0,32 <sup>a</sup>	44,05 ± 2,08 <sup>ab</sup>
Papa*	47,94 ± 2,20 <sup>a</sup>	58,62 ± 2,12 <sup>b</sup>	69,55 ± 0,19 <sup>c</sup>	5,13 ± 0,33 <sup>a</sup>	35,37 ± 3,58 <sup>a</sup>
Maíz**	44,22 ± 0,30 <sup>a</sup>	54,54 ± 0,22 <sup>a</sup>	63,98 ± 0,06 <sup>a</sup>	5,33 ± 0,06 <sup>a</sup>	45,83 ± 1,13 <sup>b</sup>

\* Media de tres repeticiones ± Desviación estándar

\*\* Media de dos repeticiones ± Desviación estándar

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Se encontraron diferencias significativas sólo en  $T_p$  y  $T_c$ , entre los otros parámetros no existió diferencia estadística significativa ( $p > 0,05$ ).

Hoover (2000) citado por SANDHU y SINGH (2007) señala que las interacciones moleculares (entre los puentes de hidrógeno y las cadenas del almidón) que ocurren después del enfriamiento de la pasta de almidón gelatinizado son conocidas como retrogradación.

Las temperaturas de gelatinización de la disociación de los almidones retrogradados fueron más bajas que las de los almidones nativos. Ésto según SRICHUWONG *et al.*

(2005) podría ser el resultado de la inadecuada adaptación de las cadenas de almidón durante la re-asociación, que causa la formación menos ordenada y/o menos estable de las estructuras cristalinas existentes en el almidón nativo.

SANDHU y SINGH (2007) señalan que la razón por la cual las temperaturas de transición de retrogradación encontradas fueron más bajas que las de gelatinización puede deberse al hecho de que la recristalización de las cadenas ramificadas de amilopectina ocurrió de una forma menos ordenada en los geles almacenados, ya que está presente en forma nativa.

El almidón de piñón retrogradado presentó un rango más amplio de temperaturas de gelatinización cuyo  $T_o$  fue el más bajo de los tres almidones (43,76 °C) y  $T_c$  más alto (66,27 °C). La  $\Delta H_{ret}$  fue de 5,38 J/g, es decir, es el almidón retrogradado que requiere mayor cantidad de energía para gelatinizar bajo las condiciones establecidas a pesar de que no existe diferencia en las entalpías de los tres tipos de almidón. Respecto al porcentaje de retrogradación presentó el valor intermedio entre las diferentes fuentes, con un valor de 40,05%.

Se observaron las temperaturas  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  más altas en el almidón de papa. El cálculo del valor promedio de  $T_o$  se vio afectado por una pequeña liberación de calor al iniciar la transición en la muestra 2 durante el calentamiento que se puede observar en la FIGURA 9, esto produjo un aumento en la temperatura inicial de gelatinización del almidón retrogradado. Si se elimina ese dato, el resto de los resultados obtenidos para  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  son similares a los valores publicados por OTTENHOF *et al.* (2004), (46,8; 57,7 y 70,2 °C, respectivamente). Los resultados obtenidos por SRICHUWONG *et al.* (2005) son más altos para  $T_o$  (54,4 °C),  $T_p$  (65,1 °C),  $T_c$  (75,0 °C) y  $\Delta H_{ret}$  (9,1 J/g).

El almidón de maíz presentó los valores más bajos en comparación a los almidones de piñón y de papa en cuanto a  $T_p$  (54,54 °C),  $T_c$  (63,98 °C) y  $\Delta H_{ret}$  (5,13 J/g), respecto a  $T_o$  (44,22 °C) presentó un valor intermedio entre los tres tipos de almidón y mostró el porcentaje más alto de retrogradación (45,83%). Estos resultados en comparación a los valores reportados por SANDHU y SINGH (2007) para diferentes variedades de maíz son levemente mayores, ya que las temperaturas  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  varían entre 41,5 y 43,1 °C, 52,4 y 53,6 °C y 62,0 y 64,3 °C, respectivamente. Para el caso de la entalpía  $\Delta H_{ret}$  y el porcentaje de retrogradación están dentro del rango publicado (4,4 y 6,9 J/g y 37,6 y 56,5%, respectivamente).

Al comparar las entalpías de gelatinización y las de retrogradación, se observa que en los almidones retrogradados se requiere menos energía para fragmentar las asociaciones intermoleculares.

Las curvas de calentamiento de los almidones retrogradados de las tres diferentes fuentes, presentaron dentro de las repeticiones comportamientos diversos como se observa en la FIGURA 9. En el caso de los almidones de piñón retrogradados, las muestras 1 y 2 presentaron un comportamiento similar con una transición dentro de un intervalo de temperatura cercano, pero la muestra 3 no presenta cambios a lo largo del proceso. Para el almidón de maíz retrogradado, las muestras 2 y 3 presentaron una zona de transición similar, pero sobre los 90 °C, la muestra 3 tuvo una nueva transición mucho más grande que puede deberse a la recristalización de la amilopectina. La muestra 1 no presentó transición hasta después de los 87 °C, debido a este comportamiento muy distinto a las otras dos muestras de maíz, se decidió no tomar en cuenta para el análisis estadístico.

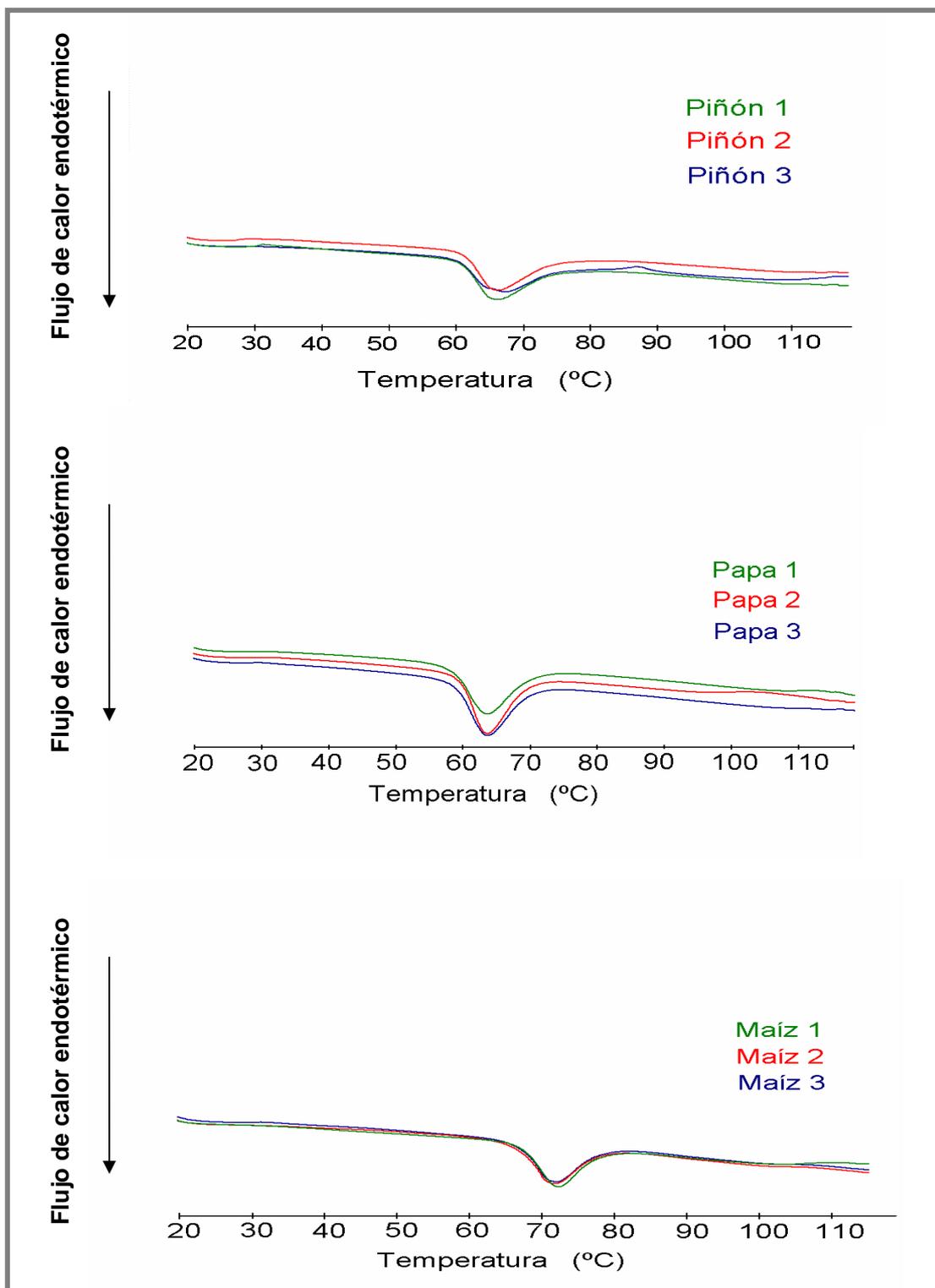


FIGURA 8 Curvas de gelatinización en almidones de piñón, papa y maíz

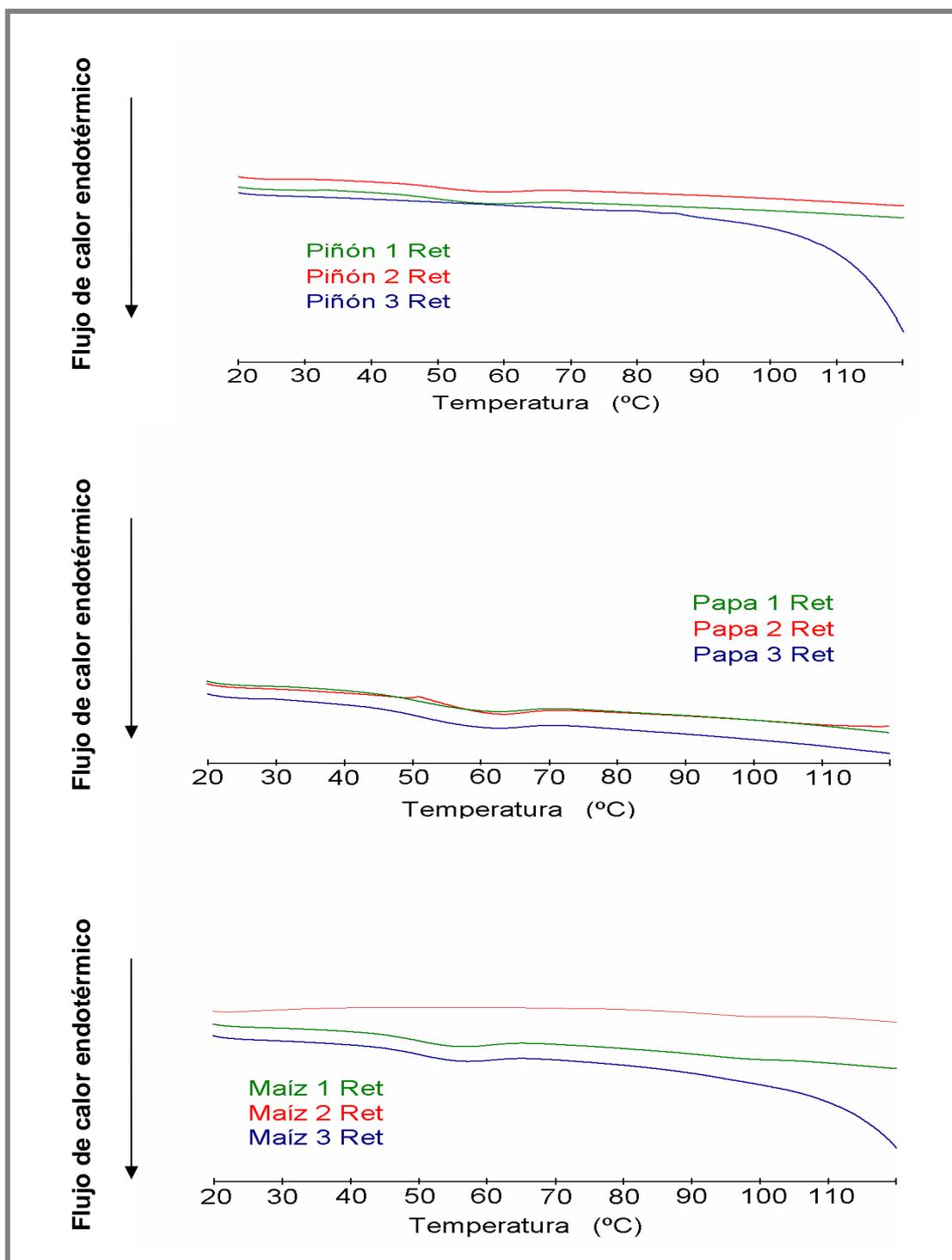
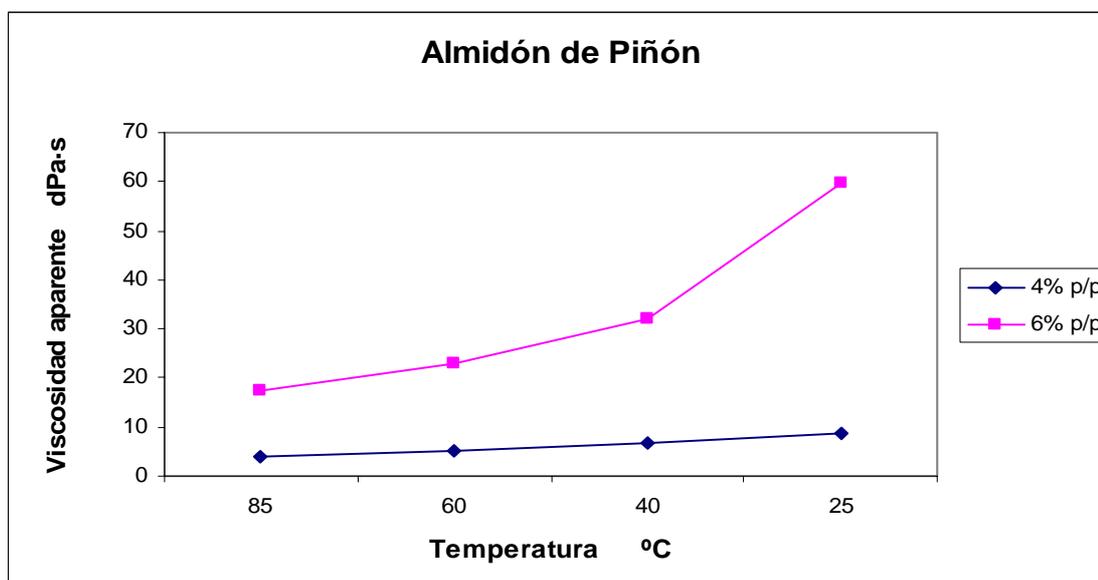


FIGURA 9 Curvas de gelatinización de los almidones retrogradados de piñón, papa y maíz

### 4.3 Viscosidad aparente

Las propiedades de pasta fueron analizadas a través de las lecturas de viscosidad aparente obtenidas del viscosímetro Visto Star R, a una velocidad de rotación de 60 rpm. Los resultados de viscosidad mostraron una tendencia lógica de ésta a aumentar a medida que disminuye la temperatura luego de la gelatinización de la solución, esta tendencia se dio en los tres tipos de almidón.

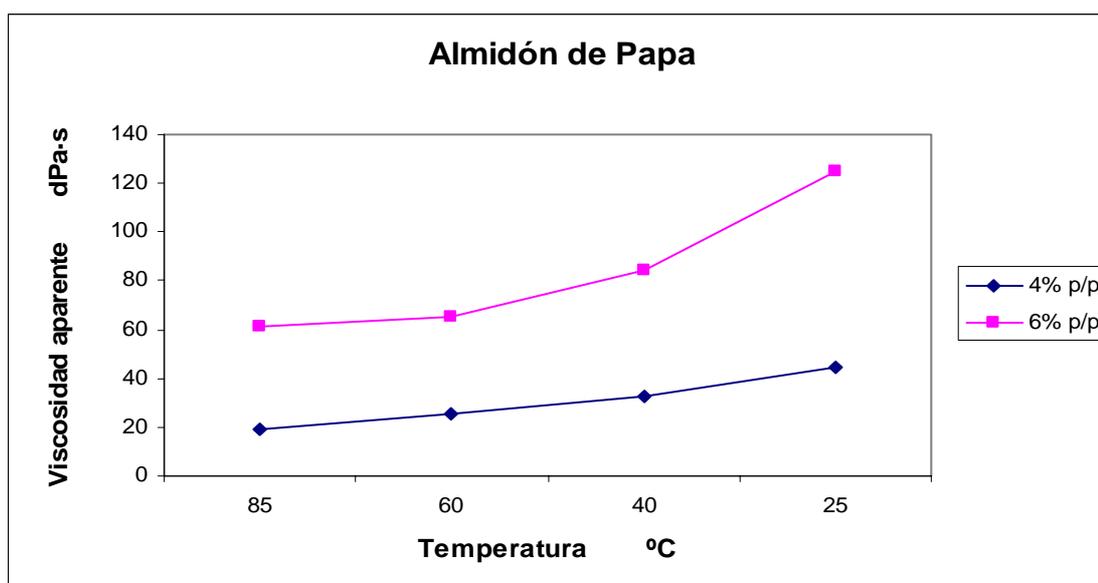
**4.3.1 Propiedades de pasta fría y pasta caliente.** En la FIGURA 10, se observan los valores de viscosidad aparente para dos soluciones preparadas con almidón de piñón y agua al 4 y 6 % p/p, donde la solución de menor concentración presenta valores de viscosidad entre 3,78 y 8,70 dPa·s, valores muy bajos en comparación a los obtenidos en la solución al 6 % p/p cuyos valores varían entre 17,57 y 59,83 dPa·s. La curva de viscosidad aumenta linealmente durante el enfriamiento desde 85 °C hasta 40 °C, a partir de esta temperatura la pendiente de la curva tiene un pronunciado cambio hacia el valor más alto de viscosidad. Estos valores son similares a los obtenidos por HENRÍQUEZ *et al.* (2008) donde los valores de viscosidad oscilaron en los mismos rangos y la curva de la solución al 6% p/p también presentó un incremento significativo durante el enfriamiento a partir de los 40 °C.



**FIGURA 10** Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de piñón durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm.

En la FIGURA 11, se muestran las curvas de viscosidad aparente de soluciones preparadas con almidón de papa. La solución de almidón de papa al 4% p/p presenta un aumento lineal de la viscosidad entre los 85 y 25 °C con valores que oscilan entre

19,37 y 44,67 dPa·s, respectivamente. Para el mismo tipo de almidón pero con una concentración mayor, la viscosidad alcanza valores mucho más altos, los cuales varían entre 61 y 125 dPa·s, esta curva al igual que la observada en la de almidón de piñón y de igual concentración, tiene un cambio pronunciado a partir de los 40 °C.

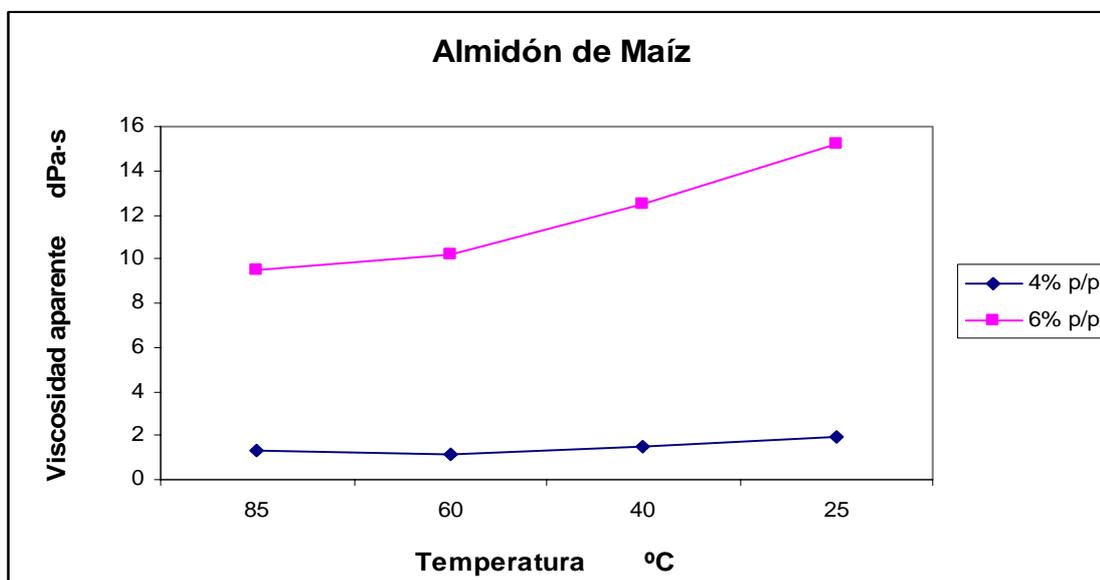


**FIGURA 11** Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de papa durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm.

Respecto a los resultados obtenidos para el almidón de maíz, estos son menores que los valores obtenidos en el almidón de piñón y papa, como se observa en la FIGURA 12. La solución al 4% p/p no presenta mayor aumento de la viscosidad aparente con valores que no alcanzan los 2 dPa·s, en cambio, en la solución preparada al 6% p/p se observa un aumento más pronunciado de la viscosidad a partir de los 60 °C alcanzando una viscosidad aparente de 15,17 dPa·s al enfriar hasta 25 °C.

El almidón de papa muestra la más alta viscosidad de pasta que los otros almidones. Esto puede ser explicado por la influencia de los grupos fosfato en el almidón de papa. Un alto contenido de fosfatos en el almidón de papa resulta en una alta viscosidad (Swinkels 1985 citado por DÍAZ, 1997). El contenido de fósforo del almidón de papa es debido a la presencia de los grupos éster fosfato de las moléculas de amilopectina (FENNEMA, 2000).

El aumento de la viscosidad de la pasta fría puede deberse a la agregación de las moléculas de amilosa (Miles *et al.* 1985, citado por KAUR *et al.*, 2007).

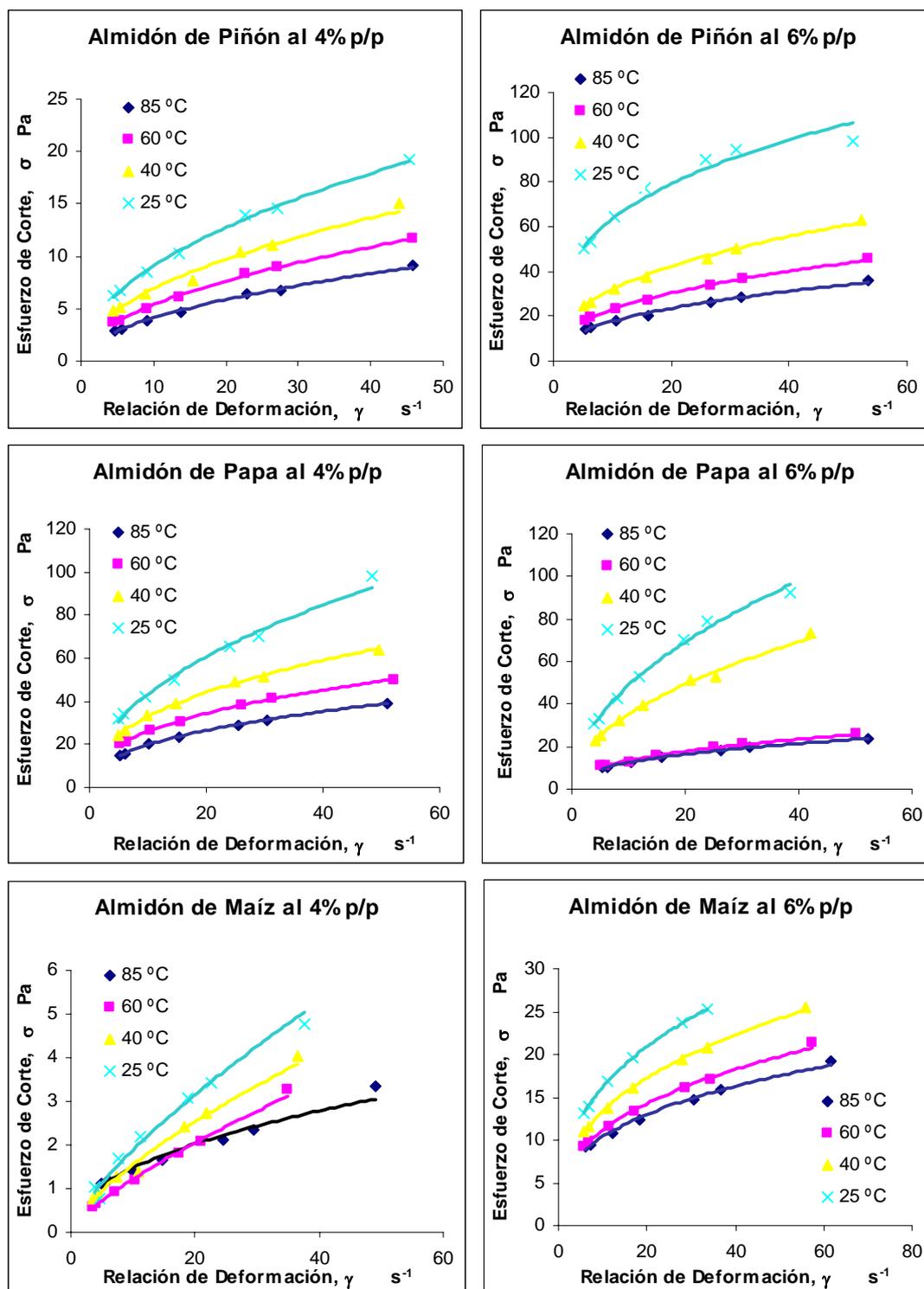


**FIGURA 12** Evolución de la viscosidad de dos soluciones de almidón de maíz durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm.

**4.3.2 Comportamiento reológico.** Además del análisis de la viscosidad aparente de la pasta caliente y la pasta fría de almidón, se estudió, de acuerdo a la clasificación reológica de fluidos, a qué tipo de fluido corresponde una solución de almidón. Para ello, se identificaron las características de esfuerzo de corte y relación de deformación, además de las constantes reológicas.

En la FIGURA 13, se muestran los gráficos que relacionan esfuerzo de corte y relación de deformación, cuyas curvas presentan un aumento exponencial del esfuerzo de corte a medida que aumenta la relación de deformación obedeciendo a la ley de la potencia pues, las curvas son cóncavas hacia abajo para bajos esfuerzos cortantes haciéndose recta para esfuerzos cortantes elevados (McCABE *et al.*, 1991). Es decir, estas soluciones de almidón se hacen menos espesas cuando se someten a velocidades de deformación altas que cuando se cizallan lentamente. La concentración de las soluciones y la temperatura son dos factores que influyen en los valores del esfuerzo cortante.

La solución de almidón de piñón al 4% p/p presenta valores de esfuerzo cortante menores que los de la solución al 6% p/p, esto se da igual forma para el almidón de papa y el almidón de maíz. Pero en el caso del almidón de papa los valores de esfuerzo cortante son notoriamente mayores.



**FIGURA 13** Reogramas de relación de esfuerzo de corte y relación de deformación para pastas de distintos tipo de almidón preparadas al 4% p/p y 6% p/p y medidas a cuatro temperaturas diferentes.

**4.3.3 Constantes reológicas.** En el CUADRO 12, se observan los valores de K y n para soluciones al 4% p/p. El almidón de maíz presentó valores del índice de consistencia, K, más bajos en comparación al almidón de piñón y al de papa que alcanzó los valores más altos. En estos dos últimos el valor de K aumentó a medida que disminuía la temperatura. En el almidón de maíz se observó una disminución de la constante K entre los 85 y 60 °C y a medida que seguía el enfriamiento aumentó pero levemente. Este índice de consistencia tiene un considerable ascenso al aumentar la concentración de la solución, siempre siguiendo la misma tendencia de aumentar a medida que la pasta es enfriada. A diferencia de la solución de almidón de maíz menos concentrada en el CUADRO 12 se observa que K aumenta desde los 85 a los 25 °C.

**CUADRO 12 Constantes reológicas obtenidas para soluciones de almidón de piñón, papa y maíz preparadas al 4% p/p**

Tipo de almidón	T °C	K Pa·s <sup>n</sup>	n	R <sup>2</sup>
Piñón	85	1,2774	0,5088	0,9962
	60	1,6617	0,5094	0,9986
	40	2,2331	0,4919	0,9830
	25	2,9292	0,4908	0,9975
Papa	85	7,5404	0,4186	0,9994
	60	10,4300	0,3976	0,9986
	40	12,4490	0,4216	0,9980
	25	14,4600	0,4804	0,9921
Maíz	85	0,5118	0,4590	0,9801
	60	0,2146	0,7527	0,9980
	40	0,3060	0,7046	0,9809
	25	0,3399	0,7437	0,9527

Respecto a los valores de n, es decir, el índice de comportamiento reológico, para las soluciones al 4% p/p, se observó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las tres muestras de almidón para cada una de las cuatro temperaturas a las que fueron sometidas. Sin embargo, los valores estuvieron entre 0 y 1, condición para clasificar

como fluido pseudoplástico de acuerdo a su comportamiento reológico. Para el almidón de piñón este índice varió entre 0,4908 y 0,5088, el almidón de papa arrojó valores un poco menores, los cuales fluctuaron entre 0,3976 y 0,4804. En cambio el almidón de maíz presentó valores más altos de  $n$ , variando entre 0,4590 y 0,7527.

Estos valores del índice de comportamiento reológico disminuyeron en las soluciones al 6% p/p, como se observa en el CUADRO 13, es decir, se alejaron aun más de un comportamiento reológico de tipo newtoniano. Se encontraron diferencias significativas en los  $n$  para 85, 40 y 25 °C, sólo a 60 °C no hubo diferencias entre los  $n$  de las tres muestras. Los valores fluctuaron entre 0,3195 y 0,4078 para el almidón de piñón, entre 0,38 y 0,5021 para el almidón de papa y entre 0,3262 y 0,3699 para el almidón extraído de maíz.

**CUADRO 13 Constantes reológicas obtenidas para soluciones de almidón de piñón, papa y maíz preparadas al 6% p/p**

Tipo de almidón	T °C	K Pa·s <sup>n</sup>	n	R <sup>2</sup>
Piñón	85	6,9331	0,4078	0,9959
	60	9,1664	0,4002	0,9965
	40	12,712	0,4005	0,9987
	25	30,394	0,3195	0,9689
Papa	85	5,2277	0,3827	0,9985
	60	5,4003	0,3986	0,9918
	40	11,3550	0,4902	0,9972
	25	15,3740	0,5021	0,9963
Maíz	85	4,8884	0,3262	0,9947
	60	4,9066	0,3560	0,9976
	40	5,6921	0,3699	0,9994
	25	6,9215	0,3688	0,9998

De acuerdo a los gráficos observados y a los valores de las constantes reológicas se pueden clasificar estas soluciones de almidón como fluidos de tipo pseudoplástico, pues al aumentar la velocidad rotacional disminuye la viscosidad y los valores del índice de comportamiento reológico  $n$ , fluctúan entre 0 y 1. Este comportamiento de

fluido pseudoplástico es similar a lo obtenido por BELLO-PÉREZ *et al.* (2001), que estudió una solución al 5% p/p de almidón de papa y otras mezclas de almidones calentadas y luego enfriadas hasta 25 °C las que fueron sometidas a crecientes tasas de cizalla.

## 5. CONCLUSIONES

- Respecto a las propiedades térmicas de gelatinización, entre los tres tipos de almidón hubo diferencias significativas, el almidón de papa presentó las temperaturas más bajas de transición y requirió una mayor cantidad de energía para llevar a cabo la gelatinización. En cambio, en el almidón de maíz se observaron valores más altos para las temperaturas de gelatinización necesitando una menor cantidad de energía. El piñón presentó valores intermedios tanto para la temperatura como para la entalpía de gelatinización respecto a los almidones de papa y maíz.
- En cuanto a las propiedades térmicas de retrogradación, la temperatura inicial de transición y la cantidad de energía necesaria para gelatinizar las muestras retrogradadas fueron similares para los almidones de las distintas fuentes botánicas.
- A una velocidad de 60 rpm la viscosidad aparente de las pastas más concentradas (6% p/p) de almidón de papa y piñón presentaron un aumento considerable durante el enfriamiento a partir de los 40 °C hasta los 25 °C. A una concentración más baja, de 4% p/p no se experimentan mayores cambios en la viscosidad aparente de ninguno de los tres tipos de almidón. El almidón de papa mostró mayor viscosidad, seguido del almidón de piñón y el de maíz.
- El comportamiento reológico de los almidones de piñón, papa y maíz responde a un fluido de tipo pseudoplástico, donde la viscosidad disminuye a medida que se aumenta la velocidad de cizalla.
- De acuerdo a las propiedades térmicas de gelatinización y de retrogradación, además de las viscosidades que puede alcanzar una pasta de almidón de piñón, técnicamente, éste podría ser usado como una alternativa al uso de los almidones de maíz y papa en la industria alimentaria.

## 6. RESUMEN

### **Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), Papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) y Maíz (*Zea mays* L.)**

El objetivo de esta investigación fue determinar algunas propiedades físicas y características químicas de almidones extraídos de tres fuentes botánicas distintas, desde piñones, papa y maíz. Se obtuvo un rendimiento de 47,29% en almidón de piñón y un 67,81% en almidón de papa (base seca). El análisis químico reveló altos contenidos de amilosa (46,27; 47,79 y 42,58% en almidón de piñón, papa y maíz, respectivamente). Las temperaturas y entalpías de gelatinización y retrogradación fueron determinadas usando calorimetría diferencial de barrido (CDB). Las propiedades de pasta fueron analizadas a través de las lecturas de viscosidad aparente obtenidas del viscosímetro con disco rotatorio a 60 rpm mostrando una tendencia a aumentar a medida que disminuye la temperatura luego de la gelatinización de la solución, esta tendencia se dio en los tres tipos de almidón. El comportamiento reológico de las tres pastas de almidones fue del tipo pseudoplástico. Estos resultados permiten conocer el uso industrial que se le puede dar a fuentes alternativas de almidón como el caso del almidón de piñón.

**Palabras claves:** *Araucaria araucana*, almidón, CDB, gelatinización, retrogradación.

## SUMMARY

### **Comparison of Some Physical Properties and Chemical Composition of Piñon (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), Potato (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) and Corn (*Zea mays* L.) Starch.**

The aim of this research was to determine some physical properties and chemical characteristics of starches extracted from three different botanical sources, piñon, potato and corn. A yield of 47,29% of piñon starch and 67,81% of potato starch, on dry weight basis was obtained. Chemical analysis revealed high values for amylose (46,27; 47,79 and 42,58% on piñon, potato and corn Storch, respectively). Gelatinization and retrogradation temperatures and enthalpy were determined using differential scanning calorimetry (DSC). Pasting properties were analyzed through the readings of apparent viscosity obtained from a rotating disc viscometer at 60 rpm showing a trend to increase as temperature decreased after gelatinization of the solution; this trend was observed in all three types of starch. The rheological behavior of the three starch pastes was shear-thinning type. These results give an idea of the industrial use that can be given to alternative sources of starch, as would be the case of the piñon.

**Key words:** *Araucaria araucana*, starch, DSC, gelatinization, retrogradation.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AGAMA-ACEVEDO, E., OTTENHOF, M., FARHAT, I., PAREDES-LÓPEZ, O., ORTIZ-CARECERES, J. Y BELLO-PÉREZ, A. 2005. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia* 39 (4): 419-429.
- ALONSO, F. 1996. El Cultivo de la patata. Mundi-Prensa. España. 272 p.
- ARAUJO de VC, C., RINCÓN, A. y PADILLA, F. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Arch latinoamer Nutr.* 54 (2): 241-245.
- BADUI, S. 1999. Química de los alimentos. Alhambra Mexicana. México. 648 p.
- BELLO-PÉREZ, L. MEZA-LEÓN, K., CONTRERAS-RAMOS, S y PAREDES-LÓPEZ, O. 2001. Functional properties of corn, banana and potato starches blends. *Acat Científica Venezolana.* 52: 62-67.
- BELITZ, H. y GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. Acribia Zaragoza. España. 1087 p.
- CÁRCAMO, L. 2005. Comportamiento reológico de la pasta de murta (*Ugni molinae* Turcz) en estado fresco y congelado. Tesis Lic. Ing en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 110 p.
- CONTRERAS, A. 1997. Producción de papa-semilla para pequeños agricultores del sur de Chile. 2ª ed. Valdivia, Chile. 83 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. La papa. *In*: Faiguenbaum, H. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ograma S. A. Chile. pp: 601-696.
- DÍAZ, L. 1997. Rendimiento y caracterización de almidón de frutos de castaño y araucaria. Memoria de título de Ing. Agrónomo. Santiago. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 53 p.

- DONALD, A. M., PERRY, P. A. y WAIGH, T. A. 2001. The impact of internal granule structure on processing and properties. In: Starch Advances in Structure and Function. Editado por T. L. Barsby, A. M. Donald y P. J. Frazier. England. pp 45-52.
- FAIGUENBAUM, H. 1987. Producción de cultivos en Chile. Torrelodones. Chile. 332 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ograma S. A. Chile. 760 p.
- FAO, 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la Fao 163. 134 p.
- FAO, 2008. Año internacional de la papa. (Online).  
<<http://www.potato2008.org/es/elaip/index.html>> (15 de mar. 2008).
- FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Acribia Zaragoza. España. 1250 p.
- HENRÍQUEZ, C., ESCOBAR, B., FIGUEROLA, F., CHIFFELLE, I., SPEISKY, H. y ESTÉVEZ, A.M. 2008. Characterization of piñon seed (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch) and the isolated starch from the seed. Food Chemistry. 107: 592-601.
- JAYAKODY, L., HOOVER, R., LIU, Q. y WEBER, E. 2005. Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. Food Research International. 38: 615-629
- JULIANO, B. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci Today. 16:334.
- KAUR, A., SINGH, N., EZEKIEL, R. y GURAYA, H. S. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. Food Chemistry. 101: 643-651.
- LINDEN, G. y LORIENT, D. 1996. Bioquímica Agroindustrial. Acribia Zaragoza. España. 428 p.

- LLANOS, M. 1984. El maíz. Mundi-Prensa. España. 318 p.
- McCABE, W. L., SMITH, J., HARRIOTT, P. 1991. Operaciones unitarias en ingeniería química. Editorial McGraw-Hill. España. 1112 p.
- MITSCHKA, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. Rheol. Acta. 21: 207-209.
- MÜLLER, H.G. 1973. Introducción a la reología de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España. 174 p.
- OTTENHOF, M., HILL, S. y FARHAT, I. 2004. Comparative study of the retrogradation of intermediate water content waxy maize, wheat, and potato starches. J. Agric. Food Chem. 53: 631-638.
- PALIWAL, R. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Roma. Italia. 376 p.
- RADRIGÁN, R. 2002. Comportamiento reológico y calidad tecnológica de harina de piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch). Tesis Magíster en Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción. Departamento de Agroindustria. 47 p.
- RHA, CH. 1978. Rheology of fluid foods. Food Technol. 32(7): 77-82.
- RINCÓN, A., PADILLA, F., ARAUJO de VC, C., y TILLET, S. 1999. *Myrosma cannifolia*, chemical composition and physicochemical properties of the extracted starch. J Sci Food Agric. 79 (4): 532-536
- SANDHU, K y SINGH, N. 2007. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. Food Chemistry. 101: 1516-1524.
- SMITH, A. M., ZEEMAN, S. C. y DENYER, K. 2001. The syntesis of amylose. In: Starch Advances in Structure and Function. Editado por T. L. Barsby, A. M Donald y P. J. Frazier. England. pp 150-163.

- SHUJUN, W., HONGYAN, L., WENYUAN, G., HAIXIA, CH., JIUGAO, Y y PEIGEN, X. 2006. Characterization of new starches separated from different Chinese yam, (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. Food Chemistry. 99: 30-37.
- SRICHUWONG, S., CANDRA, T., MISHIMA, T., ISONO, N. y HISAMATSU, M. 2005. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. Carbohydrate Polymers 60: 529-538.
- STEFFE, J.F. 1996. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418 p.
- TACÓN, A., PALMA, J., FENÁNDEZ, U. y ORTEGA, F. 2006. El mercado de productos forestales no madereros y la conservación de los bosques del sur de Chile y Argentina. Valdivia, Chile. 96 p.
- TOFIÑO, A., FREGENE, M., CEBALLOS, H. Y CABAL, D. 2006. Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. Artículo de Revisión Seminario II, Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. 17 p.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

**Datos reológicos solución de almidón de piñón al 4% p/p**

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	2,8649	4,5783	0,6050
	12	3,0250	5,4940	0,5532
	20	3,8993	9,1567	0,4304
	30	4,6529	13,7350	0,3527
	50	6,3566	22,8917	0,2744
	60	6,7533	27,4700	0,2509
	100	9,2126	45,7833	0,1952
60	10	3,6731	4,5410	0,7911
	12	3,8984	5,4332	0,7244
	20	5,0337	9,0553	0,5638
	30	6,1464	13,5817	0,4621
	50	8,3151	22,6917	0,3593
	60	8,9845	27,1633	0,3289
	100	11,6323	45,9100	0,2543
40	10	4,8081	4,3857	1,0521
	12	5,1113	5,2628	0,9588
	20	6,4170	8,7713	0,7393
	30	7,6446	15,4903	0,5534
	50	10,4160	21,9283	0,4637
	60	11,0484	26,3140	0,4226
	100	15,0660	43,8833	0,3257
25	10	6,2868	4,5230	1,3583
	12	6,6960	5,4276	1,2379
	20	8,5188	9,0460	0,9544
	30	10,2393	13,5690	0,7763
	50	13,9035	22,6150	0,5985
	60	14,5638	27,1380	0,5455
	100	19,2510	45,2300	0,4205

## ANEXO 2

## Datos reológicos solución de almidón de piñón al 6% p/p

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	13,9781	5,3270	2,5746
	12	14,8225	6,3924	2,3111
	20	18,2182	10,6540	1,7078
	30	20,4820	15,9810	1,3432
	50	26,5907	26,6350	0,9926
	60	28,4053	31,9620	0,8910
	100	35,7537	53,2700	0,6584
60	10	18,3530	5,3403	3,3559
	12	19,4148	6,4084	3,0082
	20	23,2309	10,6807	2,2143
	30	26,9231	16,0210	1,7363
	50	33,9570	26,7017	1,2781
	60	36,8676	32,0420	1,1457
	100	45,9947	53,4367	0,8430
40	10	24,9288	5,2230	4,7187
	12	26,5860	6,2676	4,2301
	20	32,3750	10,4460	3,1142
	30	37,7738	15,6690	2,4422
	50	46,1125	26,1150	1,7980
	60	50,6100	31,0047	1,6222
	100	62,9125	52,2300	1,1866
25	10	50,1463	5,1613	5,1613
	12	52,9095	6,1936	6,1936
	20	64,1550	10,3227	10,3227
	30	77,0963	15,4840	15,4840
	50	89,6875	25,8067	25,8067
	60	94,2375	30,9680	30,9680
	100	98,1750	50,7500	50,7500

## ANEXO 3

## Datos reológicos solución de almidón de papa al 4% p/p

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	15,0022	5,0957	2,9257
	12	15,9221	6,1148	2,6314
	20	20,1406	10,1913	1,9553
	30	23,5813	15,2870	1,5446
	50	28,9264	25,4783	1,1477
	60	31,5159	30,5740	1,0323
	100	39,3470	50,9567	0,7671
60	10	20,4191	5,2087	3,8595
	12	21,2151	6,2504	3,4580
	20	26,5907	10,4173	2,5421
	30	30,7769	15,6260	1,9912
	50	38,4038	26,0433	1,4638
	60	41,4491	31,2520	1,3115
	100	49,8575	52,1900	0,9630
40	10	24,1150	4,9620	4,9291
	12	26,2920	5,9544	4,4358
	20	33,2238	9,9240	3,3010
	30	39,2963	14,8860	2,6110
	50	49,3500	24,8100	1,9430
	60	51,1088	29,7720	1,7486
	100	63,8750	49,6200	1,3013
25	10	31,6138	4,8383	6,3406
	12	34,0725	5,8160	5,7625
	20	42,0875	9,6767	4,4236
	30	49,9538	14,5150	3,5835
	50	65,2313	24,1917	2,7484
	60	70,3500	29,0300	2,5001
	100	98,5250	48,3833	1,9175

## ANEXO 4

## Datos reológicos solución de almidón de papa al 6% p/p

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	9,9535	5,2383	1,8808
	12	10,6506	6,2860	1,6806
	20	12,5048	10,4767	1,2261
	30	14,9842	15,7150	0,9546
	50	18,2362	26,1917	0,6964
	60	19,7274	31,3916	0,6228
	100	23,8160	52,3833	0,4540
60	10	10,8159	5,0043	2,0504
	12	10,8447	6,0052	1,8374
	20	13,0079	10,0087	1,3514
	30	15,4693	15,0130	1,0590
	50	19,7633	25,0217	0,7789
	60	21,0210	30,0260	0,6980
	100	26,0517	50,0233	0,5135
40	10	23,2050	4,2060	5,4593
	12	25,1580	5,0472	4,9748
	20	31,9900	8,4120	3,8342
	30	39,3750	12,6180	3,1182
	50	50,9250	21,0300	2,4033
	60	52,9200	25,2360	2,1900
	100	73,1500	42,0600	1,6879
25	10	31,0450	3,9663	7,7419
	12	33,1800	4,7596	7,0701
	20	42,9100	7,9327	5,4823
	30	53,0250	11,8987	4,4802
	50	70,1750	19,8317	3,4740
	60	78,7500	23,7990	3,1725
	100	92,4000	38,4000	2,5000

## ANEXO 5

## Datos reológicos solución de almidón de maíz al 4% p/p

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	1,1137	4,9113	0,2164
	12	1,1793	5,8936	0,1960
	20	1,4399	9,8560	0,1484
	30	1,6511	14,7340	0,1194
	50	2,1172	24,5567	0,0906
	60	2,3443	29,4747	0,0821
	100	3,3519	49,1133	0,0623
60	10	0,5613	3,4823	0,1576
	12	0,6402	4,1788	0,1507
	20	0,9143	6,9647	0,1328
	30	1,2108	10,4470	0,1201
	50	1,7949	17,4117	0,1059
	60	2,0944	20,8940	0,1012
	100	3,2527	34,8233	0,0892
40	10	0,7874	3,6457	0,2088
	12	0,8937	4,3748	0,1979
	20	1,2872	7,2913	0,1702
	30	1,3658	10,9370	0,1509
	50	2,4197	18,2283	0,1298
	60	2,7370	21,8740	0,1230
	100	4,0460	36,4567	0,1058
25	10	1,0522	3,7540	0,2422
	12	0,7841	4,5048	0,2311
	20	1,6898	7,5080	0,2027
	30	2,2075	11,2620	0,1827
	50	3,0692	18,7700	0,1603
	60	3,4286	22,5240	0,1530
	100	4,7799	37,5400	0,1342

## ANEXO 6

## Datos reológicos solución de almidón de maíz al 6% p/p

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Esfuerzo de corte (Pa)	Relación de Deformación (s <sup>-1</sup> )	Viscosidad aparente (Pa·s)
85	10	9,1326	6,1517	1,4373
	12	9,3297	7,3820	1,2711
	20	10,8810	12,3033	0,9010
	30	12,3876	18,4550	0,6856
	50	14,7870	30,7583	0,4859
	60	15,9030	36,9100	0,4298
	100	19,1580	61,5167	0,3046
60	10	9,3000	5,7600	1,5888
	12	9,7542	6,9120	1,4128
	20	11,6436	11,5200	1,0167
	30	13,4199	17,2800	0,7831
	50	16,0425	28,8000	0,5635
	60	17,0748	34,5600	0,5011
	100	21,2970	57,6000	0,3606
40	10	10,8903	5,5997	1,9225
	12	11,5060	6,7196	1,7138
	20	13,8198	11,1993	1,2422
	30	16,0146	16,7990	0,9621
	50	19,4370	27,9983	0,6973
	60	20,8692	33,5980	0,6216
	100	25,4820	55,9967	0,4506
25	10	13,1502	5,6110	2,3303
	12	13,9723	6,7332	2,0770
	20	16,7772	11,2220	1,5045
	30	19,5579	16,8330	1,1648
	50	23,7150	28,0550	0,8438
	60	25,3901	33,6663	0,7520
	100	-	-	-

## ANEXO 7

### Análisis estadístico para propiedades térmicas de gelatinización

#### 7.1 Análisis estadístico para $T_0$ de gelatinización (temperatura inicial de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica.

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,577492	0,5355538
<b>Bartlett</b>	1,27696	0,548765
<b>Levene</b>	0,467508	0,647606

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

##### Análisis de varianza (ANDEVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	103,638	2	51,8189	413,27	0,0000
<b>Intra grupos</b>	0,752333	6	0,125389		
<b>Total</b>	104,39	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas iniciales de gelatinización para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

##### Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
<b>1</b>	60,04	X
<b>2</b>	58,1667	X
<b>3</b>	66,1167	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

#### 7.2 Análisis estadístico para $T_p$ de gelatinización (temperatura peak de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica.

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,80792	0,110684
<b>Bartlett</b>	5,1273	0,0180945
<b>Levene</b>	1,01958	0,415742

El menor de los p-valores es inferior a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar tienen diferencias significativas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
Inter grupos	104,268	2	52,1341	441,36	0,0000
Intra grupos	0,708733	6	0,118122		
Total	104,977	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas peak de gelatinización para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	65,36	X
2	62,6167	X
3	70,8067	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**7.3 Análisis estadístico para Tc de gelatinización (temperatura conclusión de gelatinización) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
Cochran	0,645483	0,377047
Bartlett	1,63027	0,301299
Levene	0,722887	0,523268

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
Inter grupos	93,2429	2	46,6214	820,48	0,0000
Intra grupos	0,340933	6	0,0568222		
Total	93,5838	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas de conclusión de gelatinización para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	73,9	X
2	69,2833	X
3	77,1267	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**7.4 Análisis estadístico para la entalpía de gelatinización entre muestras de almidón de distinta fuente botánica****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,855654	0,0625073
<b>Bartlett</b>	3,24759	0,0555072
<b>Levene</b>	0,687111	0,538648

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	13,5835	2	6,79174	6,42	0,0323
<b>Intra grupos</b>	6,35187	6	1,05864		
<b>Total</b>	19,9354	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las entalpías de gelatinización para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	12,48	X
2	14,56	X
3	11,6367	X

El método de Tukey indica que entre las muestras 1 y 3 no hay diferencias significativas, pero sí la muestra 2 respecto a la 1 y 3.

## ANEXO 8

### Análisis estadístico para propiedades térmicas de retrogradación

#### 8.1 Análisis estadístico para $T_0$ de retrogradación (temperatura inicial de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica.

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,963429	0,0227475
<b>Bartlett</b>	3,78683	0,144169
<b>Levene</b>	1,5646	0,314802

El menor de los p-valores es menor a 0,05, por lo tanto existe diferencia significativa entre las desviaciones estándar, con un 95% de confianza.

##### Análisis de varianza (ANDEVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	18,3559	2	9,17795	2,47	0,2002
<b>Intra grupos</b>	14,8611	4	3,71527		
<b>Total</b>	33,217	6			

El p-valor es mayor a 0,05, por lo tanto no existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas iniciales de retrogradación para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

##### Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
<b>1</b>	43,76	X
<b>2</b>	47,2433	X
<b>3</b>	44,22	X

El método de Tukey indica que no existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

#### 8.2 Análisis estadístico para $T_p$ de retrogradación (temperatura peak de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,867129	0,129572
<b>Bartlett</b>	1,95936	0,375928
<b>Levene</b>	0,613681	0,585538

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
Inter grupos	38,6242	2	19,3121	33,27	0,0032
Intra grupos	2,32212	4	0,580529		
Total	40,9463	6			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas peak de retrogradación para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	55,845	X
2	59,8333	X
3	54,54	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**8.3 Análisis estadístico para Tc de retrogradación (temperatura conclusión de retrogradación) entre muestras de almidón de distinta fuente botánica****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
Cochran	0,667973	0,460147
Bartlett	1,49072	0,559483
Levene	1,01359	0,440444

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
Inter grupos	38,8615	2	19,4307	321,08	0,0000
Intra grupos	0,242067	4	0,0605167		
Total	39,1035	6			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas finales de retrogradación para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	66,27	X
2	69,5533	X
3	63,98	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**8.4 Análisis estadístico para la entalpía de retrogradación entre muestras de almidón de distinta fuente botánica****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,548841	0,715451
<b>Bartlett</b>	1,77104	0,435452
<b>Levene</b>	0,687412	0,55385

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	0,0878929	2	0,0439464	0,33	0,7379
<b>Intra grupos</b>	0,53545	4	0,133863		
<b>Total</b>	0,623343	6			

El p-valor es mayor a 0,05, por lo tanto no existen diferencias estadísticas significativas entre las entalpías de retrogradación de los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	5,38	X
2	5,325	X
3	5,13	X

El método de Tukey indica que no hay diferencias significativas.

### 8.5 Análisis estadístico para el % de Retrogradación entre muestras de almidón de distinta fuente botánica

#### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,632352	0,532032
<b>Bartlett</b>	1,3068	0,677593
<b>Levene</b>	0,2811494	0,768461

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

#### Análisis de varianza (ANDEVA)

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	131,559	2	65,7794	5,29	0,0753
<b>Intra grupos</b>	49,7571	4	12,4393		
<b>Total</b>	181,316	6			

El p-valor es mayor a 0,05, por lo tanto no existen diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de retrogradación de los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

#### Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
<b>1</b>	40,05	XX
<b>2</b>	35,3733	X
<b>3</b>	45,83	X

El método de Tukey indica que no hay diferencias significativas.

## ANEXO 9

### Análisis estadístico para el índice de comportamiento reológico n en soluciones al 4% p/p

#### 9.1 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 85 °C en soluciones al 4% p/p

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,478758	0,815078
<b>Bartlett</b>	1,38311	0,45109
<b>Levene</b>	0,296844	0,753474

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

##### Análisis de varianza (ANDEVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	0,0123787	2	0,00618937	17,43	0,0032
<b>Intra grupos</b>	0,00213119	6	0,000355199		
<b>Total</b>	0,0145099	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre los índice de comportamiento reológico a 85° C para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

##### Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
<b>1</b>	0,508167	X
<b>2</b>	0,417467	X
<b>3</b>	0,4584	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

#### 9.2 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 60 °C en soluciones al 4% p/p

##### Prueba de homogeneidad de varianzas

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,908438	0,0251506
<b>Bartlett</b>	3,00471	0,0671756
<b>Levene</b>	1,63003	0,272027

El menor de los p-valores es inferior a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar tienen diferencias significativas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
Inter grupos	0,189443	2	0,0947217	1178,85	0,0000
Intra grupos	0,000319493	6	0,0000532489		
Total	0,189763	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre los índice de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados a 60 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,516	X
2	0,404867	X
3	0,752767	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**9.3 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 40 °C en soluciones al 4% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
Cochran	0,781132	0,143709
Bartlett	1,95278	0,193455
Levene	1,34792	0,328488

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
Inter grupos	0,130617	2	0,0653086	192,77	0,0000
Intra grupos	0,00203277	6	0,000338794		
Total	0,13265	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las índices de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados hasta 40 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,494867	X
2	0,4201	X
3	0,7047	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**9.4 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 25 °C en soluciones al 4% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,634125	0,401593
<b>Bartlett</b>	1,30902	0,516361
<b>Levene</b>	0,199802	0,824128

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	0,0728736	2	0,0364368	60,16	0,0001
<b>Intra grupos</b>	0,0036339	6	0,00060565		
<b>Total</b>	0,0765075	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre los índices de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados hasta 25 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,490367	X
2	0,481133	X
3	0,676407	X

El método de Tukey indica que entre las muestras 1 y 2 no hay diferencias significativas, pero sí existen para la muestra 3 respecto a la 1 y 2.

## ANEXO 10

**Análisis estadístico para el índice de comportamiento reológico n en soluciones al 6% p/p****10.1 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 85 °C en soluciones al 6% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,862792	0,0564778
<b>Bartlett</b>	2,56407	0,0991429
<b>Levene</b>	0,738793	0,516617

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	0,0102203	2	0,00511017	11,15	0,0095
<b>Intra grupos</b>	0,00274887	6	0,000458146		
<b>Total</b>	0,0129692	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre los índice de comportamiento reológico a 85° C para los tres tipos de almidón, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
<b>1</b>	0,408167	X
<b>2</b>	0,370033	X
<b>3</b>	0,3257	X

El método de Tukey indica que no existen diferencias significativas entre las muestras 1 y 2 pero si entre estas dos y la muestra 3.

**10.2 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 60 °C en soluciones al 6% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,962856	0,00413895
<b>Bartlett</b>	7,31402	0,00756641
<b>Levene</b>	0,874273	0,464294

Los p-valores menores son inferiores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar tienen diferencias significativas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
Inter grupos	0,00429777	2	0,00214888	1,94	0,2243
Intra grupos	0,00665435	6	0,00110906		
Total	0,0109521	8			

El p-valor es mayor a 0,05, por lo tanto no existen diferencias estadísticas significativas entre los índice de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados a 60 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,4068	X
2	0,3958	X
3	0,355933	X

El método de Tukey indica que no existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**10.3 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 40 °C en soluciones al 6% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
Cochran	0,505161	0,734595
Bartlett	1,54599	0,34323
Levene	0,662991	0,549358

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coficiente F	P-Valor
Inter grupos	0,022302	2	0,011151	235,45	0,0000
Intra grupos	0,00028416	6	0,00004736		
Total	0,0225862	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre las índices de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados hasta 40 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,413367	X
2	0,490267	X
3	0,369867	X

El método de Tukey indica que existen diferencias significativas entre las tres muestras de almidón.

**10.4 Análisis estadístico para n (índice de comportamiento reológico) a 25 °C en soluciones al 6% p/p****Prueba de homogeneidad de varianzas**

		P-valor
<b>Cochran</b>	0,755933	0,178705
<b>Bartlett</b>	4,69406	0,0224726
<b>Levene</b>	0,986523	0,426168

Los p-valores son mayores a 0,05, por lo tanto las desviaciones estándar son homogéneas, con un 95% de confianza.

**Análisis de varianza (ANDEVA)**

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media Cuadrática	Coefficiente F	P-Valor
<b>Inter grupos</b>	0,0554685	2	0,0277343	159,08	0,0000
<b>Intra grupos</b>	0,00104605	6	0,000174342		
<b>Total</b>	0,0565146	8			

El p-valor es menor a 0,05, por lo tanto existen diferencias estadísticas significativas entre los índices de comportamiento reológico para los tres tipos de almidón al ser enfriados hasta 25 °C, con un 95% de confianza.

**Prueba de rango múltiple, Método 95%, Tukey HSD**

Tipo de Almidón	Promedio	Grupos homogéneos
1	0,3579	X
2	0,529633	X
3	0,368833	X

El método de Tukey indica que entre las muestras 1 y 2 no hay diferencias significativas, pero sí existen para la muestra 3 respecto a la 1 y 2.