Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Ingeniería en Alimentos

Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé

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

Ricardo Alonso Espinoza Muñoz

VALDIVIA – CHILE
2012

PROFESOR PATROCINANTE:

_____

Sr. Javier Parada Silva
Ingeniero en Alimentos, Doctor en Ciencias de la Ingeniería
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile

PROFESORES INFORMANTES:

_____

Sr. Bernardo Carrillo López
Ingeniero Agrónomo, Master en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile

_____

Sr. Kong Shun Ah Hen
Ingeniero en Alimentos, Dipl-Ing., Dr.-Ing.
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile

AGRADECIMIENTOS

En memoria de mi querida abuela Mirta que partió a una vida mejor, pero que siempre estará viva en mis recuerdos y presente en todos los logros que consiga de aquí en adelante.

“Solo es inmortal aquel que por siempre es recordado…”

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	MATERIAL Y MÉTODO	8
2.1	Materia prima	8
2.2	Metodología	8
2.2.1	Extracción de almidón de papa	8
2.2.2	Análisis proximal	10
2.2.3	Determinación del contenido de fósforo	10
2.2.4	Calorimetría diferencial de barrido	11
2.2.5	Viscosidad newtoniana equivalente	12
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	13
3.1	Características físicas y químicas de los almidones extraídos	13
3.1.1	Extracción	13
3.1.2	Análisis proximal	14
3.1.3	Determinación del contenido de fósforo	14
3.2	Viscosidad newtoniana equivalente	16
3.3	Propiedades térmicas	20
3.3.1	Propiedades térmicas de gelatinización	20
3.3.2	Propiedades térmicas de almidón retrogradado	23
4	CONCLUSIONES	26
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
6	ANEXOS	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Propiedades físico-químicas de almidones antes a) y después b) de un tratamiento térmico en un estado húmedo (T: 100°C; t: 16h; H2O: 27%)	6
2	Rendimientos en la extracción de almidón	13
3	Composición proximal de las muestras de almidón	14
4	Análisis del contenido total de fósforo	15
5	Contenido de fósforo en almidón de distintas fuentes botánicas	16
6	Viscosidad newtoniana equivalente durante el enfriamiento de las pastas	17
7	Propiedades térmicas de gelatinización	20
8	Relación entre el contenido de fósforo y la entalpía de gelatinización	22
9	Propiedades térmicas de retrogradación	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructuras física y molecular del almidón a) Cadena lineal y estructura química de la amilosa; b) Cadena ramificada y estructura química de la amilopectina.	4
2	Línea de extracción de almidón de papa	9
3	Evolución de la viscosidad de dos muestras de almidón de papa durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm.	18
4	Relación del contenido de fósforo y la viscosidad a dos temperaturas de pasta preparadas al 6% p/p.	19
5	Relación entre contenido de fósforo y las temperaturas inicial y máxima de gelatinización	22
6	Relación entre el contenido de fósforo y las propiedades térmicas de retrogradación	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos		Página
1	Curvas de gelatinización y retrogradación de las muestras analizadas	32

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue relacionar el contenido de fósforo con algunas propiedades térmicas y reológicas en el almidón extraído de ocho variedades de papa nativa. Para ello se determinó el contenido de fósforo, obteniendo resultados ampliamente respaldados por otras investigaciones presentes en la literatura. Las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación fueron evaluadas, a través, de la técnica de calorimetría diferencial de barrido (CDB), ampliamente usada para medir estos parámetros. Los resultados obtenidos evidenciaron una relación de estas propiedades con el contenido de fósforo en el almidón. La viscosidad fue medida en el viscosímetro, a una velocidad de rotación de 60 rpm, los resultados observados mostraron una estrecha relación de esta propiedad con el contenido de fósforo en las muestras, a mayor presencia de este, el aumento de la viscosidad era evidente. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se puede apreciar el rol fundamental que cumple la presencia de fósforo en propiedades tan importantes en el almidón, que definen entre otras características el uso a nivel de la industria alimentaria de este importante carbohidrato.

Palabras claves: almidón, fósforo, gelatinización, retrogradación, CDB.

SUMMARY

The main objective of this research was to relate the phosphorus content with some thermal and rheological properties on the starch extracted from eight varieties of native potato. For this, the phosphorus content was determined, getting results very supported by other investigations that are present in literature.

The thermal properties of gelatinization and retrogradation were evaluated through the technique of Differential scanning calorimetry (DSC), a method highly used to measure these parameters. The results obtained, showed a relation between these properties with the phosphorus content on the starch. The viscosity was measured with the viscometer on a rotation speed of 60 rpm. The results observed, showed a close relationship of this property with the phosphorus content on the samples, so, with a greater presence of this, the viscosity increase was evident.

Taking into account the obtained results of this investigation, it can be appreciated the fundamental role that the phosphorus presence has on such important properties as the starch, which defines, among other characteristics the high use in the food industry of this important carbohydrate.

Key words: starch, phosphorus, gelatinization, retrogradation, DSC.

1 INTRODUCCIÓN

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 digestibles de la dieta habitual. Del mismo modo, la cantidad de almidón utilizado en la preparación de productos alimenticios, sin contar el que se encuentra presente en las harinas usadas para hacer pan y otros productos de panadería, los que se encuentran de forma natural en los granos que se transforman en cereales de desayuno, o los que se consumen en las frutas hortalizas, exceden con mucho al consumo conjunto de todos los demás hidrocoloides de los alimentos (FENNEMA, 2000). Se presenta en forma de gránulos, que son por lo general de una forma irregular redondeada, que varían en tamaño desde 2 hasta 100 µm. Tanto las formas y los tamaños de los gránulos son característicos de las especies de plantas y se puede utilizar para identificar el origen de un almidón o harina (COULTATE, 2009).

Los gránulos de almidón están formados por moléculas de amilosa y/o amilopectina ordenadas de forma radial. Contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Las ramas agrupadas en paralelo de la amilopectina se encuentran formando dobles hélices. En este empaquetamiento, las estructuras en doble hélice forman las muchas pequeñas áreas cristalinas muy densas que alternan con las menos densas y amorfas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo, es decir, los que no poseen amilosa, tienen parecido grado de cristalinidad que los almidones normales (FENNEMA, 2000). La mayoría de los almidones contienen de un 20 – 30% de amilosa y entre un 70 – 80% de amilopectina (BELITZ *et al.,* 2009).

En la FIGURA 1 se muestran las estructuras de ambas moléculas, diferenciándolas en su conformación espacial y estructura química.

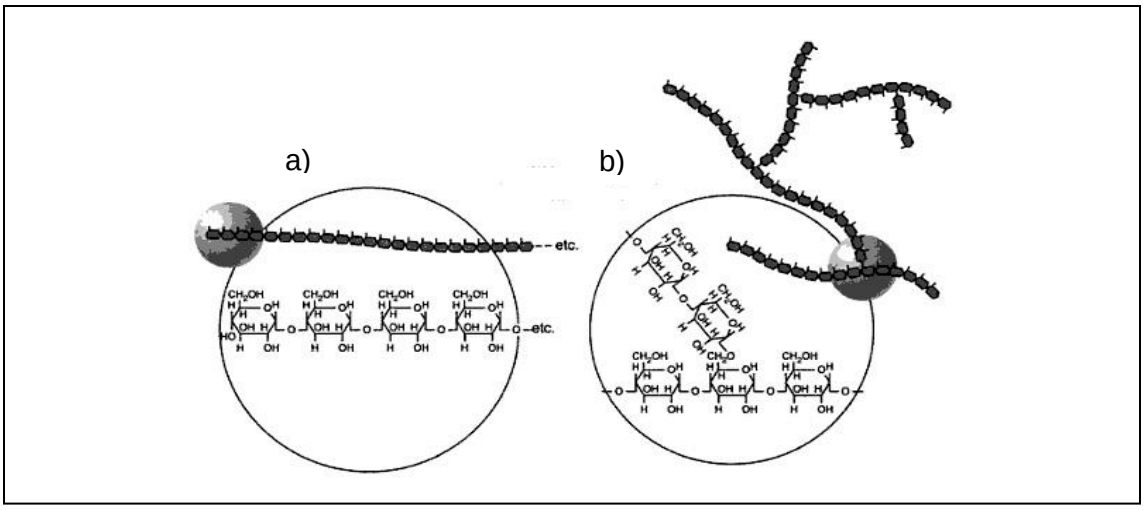


FIGURA 1. Estructuras física y molecular del almidón a) Cadena lineal y estructura química de la amilosa; b) Cadena ramificada y estructura química de la amilopectina.

FUENTE: PARKER (2001)

BELLO (2000), señala que estos dos polímeros presentan propiedades físicas y químicas diferentes, que inciden en las características de los alimentos en que intervienen. Así por ejemplo en el caso del arroz, alcanza más calidad cuanto mayor sea su contenido en amilosa, pues el grano del cereal resulta menos pegajoso en la cocción. En la práctica, las propiedades y características de cada tipo de almidón vienen a ser una función de las proporciones que contenga entre amilosa y amilopectina.

- La amilosa, como consecuencia de su estructura lineal, suele tener una gran tendencia a gelificar en caliente y precipitar cuando se enfría como consecuencia del fenómeno de la retrogradación.

- En cambio, la amilopectina, al tener una estructura ramificada suele dar soluciones muy viscosas, pero no es capaz de formar las redes moleculares, propias de los geles.

La relación de amilosa y amilopectina difiere del tipo de planta. Estas diferencias dan origen a las propiedades características en la cocción y la formación de gel (PARKER,

2001). Estas propiedades también se refieren a la forma, tamaño, distribución de tamaño, composición y cristalinidad de los gránulos (BELITZ *et al.,* 2009).

La apariencia de los gránulos cambia cuando se alcanza una temperatura, que es crítica para cada especie vegetal, y se denomina temperatura de gelatinización. Es un proceso de formación de una pasta denominada engrudo, que comienza de modo gradual y se hace efectivo cuando alcanza una cierta temperatura (BELLO, 2000).

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

La hinchazón de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de éstas. Sin embargo, los cambios que ocurren en los gránulos durante el procesamiento es el resultado no sólo de la gelatinización del almidón, sino también de la actividad de las amilasas y la hidrólisis del almidón en dextrina y maltosa (IQBAL y MIDO, 2005)

Según BROWN (2011), la gelatinización depende de varios factores, incluyendo el contenido de agua, temperatura, agitación y la presencia de ácidos, azúcares, lípidos y proteínas. Estos factores necesitan trabajar en sincronía con el fin de que se produzca la gelatinización máxima.

Los cambios en las propiedades físicas del almidón pueden ser causados por estos tratamientos, sin embargo, varían según el origen botánico del almidón. En el

CUADRO 1 se muestran estos cambios antes y después de un tratamiento determinado.

CUADRO 1. Propiedades físico-químicas de almidones antes a) y después b) de un tratamiento térmico en un estado húmedo (T: 100°C; t: 16h; H_2O: 27%)

Propiedad	Almidón de trigo		Almidón de papa	
	a)	b)	a)	b)
Inicio de gelatinización (°C)	56,5	61	60	60,5
Fin de gelatinización (°C)	62	74	68	79
Capacidad de hinchazón a 80°C (%)	7,15	5,94	62,3	19,05
Solubilidad a 80°C (%)	2,59	5,93	31	10,1
Capacidad de retención H_2O (%)	89,1	182,6	102	108,7

FUENTE: BELITZ *et al.,* (2009)

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

Al enfriar y dejar en reposo las pastas de almidón, éstas se hacen progresivamente menos soluble. En soluciones diluidas las moléculas de almidón tienden a precipitar, y este material insoluble es cada vez más difícil de redisolver por calentamiento. El proceso colectivo de pérdida de solubilidad del almidón disuelto se conoce como retrogradación (FENNEMA, 2000).

Así mismo SHAKUNTALA y SHADAKSHARASWAMY (2001), señalan que en una solución muy diluida de almidón, las moléculas de amilosa no son lo suficientemente firmes para producir un gel, de modo que las micelas de crecimiento eventualmente causan la precipitación.

El efecto de la retrogradación es muy importante para la textura de los alimentos (MCWILLIAMS, 2007).

SINNOT (2007), señala que en la retrogradación el primer componente en cristalizar es la amilosa, seguido por una lenta cristalización de amilopectina. Como sería de esperar para una cristalización, la retrogradación depende de las condiciones del tratamiento original y de la presencia de otros polímeros.

Según CAMPBELL (2009), para evitar la retrogradación se usan almidones cerosos que contienen solamente amilopectina.

FENNEMA (2000), señala que todos los almidones retienen pequeñas cantidades de cenizas, lípidos y proteínas. El contenido de fósforo del almidón de papa (0,06-0,1%) es debido a la presencia de los grupos éster fosfatos de las moléculas de amilopectina. Según lo señalado por Jobling (2004), citado por HUI *et al.,* (2006) la importancia de la fosforilación se hace evidente cuando se considera que los monoesteres de fosfato del almidón aumentan la claridad y la viscosidad de las pastas de almidón y reduce la tasa de gelatinización y retrogradación.
El almidón es un importante espesante y agente aglutinante y se utiliza ampliamente en la producción de cremas, salsas, sopas, aderezos para ensaladas, preparados para la dieta alimentaria de los niños, rellenos de pastelería, mayonesa, etc. (BELITZ *et al.,* 2009).

El objetivo general de este trabajo es relacionar el contenido de fósforo en almidones de distintas variedades de papas chilotas con algunas propiedades térmicas y reológicas del almidón.

Objetivos específicos:

- Determinar el contenido total de fósforo en el almidón extraído de distintas papas chilotas.
- Determinar por medio de la calorimetría diferencial de barrido la temperatura y entalpía de gelatinización y retrogradación del almidón.
- Determinar la viscosidad newtoniana equivalente del almidón.

2 MATERIAL Y MÉTODO

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, ubicada en el Campus Isla Teja de la ciudad de Valdivia.

2.1 Materia prima

Las fuentes de almidón corresponden a 8 variedades tradicionales de papas nativas de Chiloé, las cuales fueron obtenidas de la Estación Experimental Santa Rosa de la Universidad Austral de Chile . Las ocho variedades tradicionales de papas chilotas seleccionadas se muestran en el CUADRO 2.

2.2 Metodología

Se estableció una línea de flujo definida para la extracción del almidón de su fuente natural.

2.2.1 Extracción de almidón de papa. El método que se utilizó está basado en los métodos descritos por RINCÓN *et al.,* (1999), JAYAKODY *et al.,* (2005) y OJEDA (2008), considerando algunas modificaciones de acuerdo a los requerimientos de esta investigación. En la FIGURA 2 se observa la línea de flujo para la obtención del almidón, considerando una muestra de 1500 g de materia prima. A continuación se describen las etapas del proceso.

- En una licuadora se mezclaron la muestra de papa con agua en una relación 1:1.
- La mezcla obtenida de la primera molienda se hizo pasar por una malla de 100 µm adicionando además 750 mL de agua destilada para arrastrar la mayor cantidad de almidón presente. La muestra decantó por 1 hora.
- Se pesó lo que queda sobre la muselina. La muestra retenida sobre la muselina se mezcló con agua (1:1) en una licuadora.

- La masa obtenida de la segunda molienda se pasó nuevamente por una malla, ahora de 60µm y se adicionó 750 mL de agua destilada. Posteriormente se mezcló con lo obtenido del primer filtrado. La muestra decantó por 1 hora.

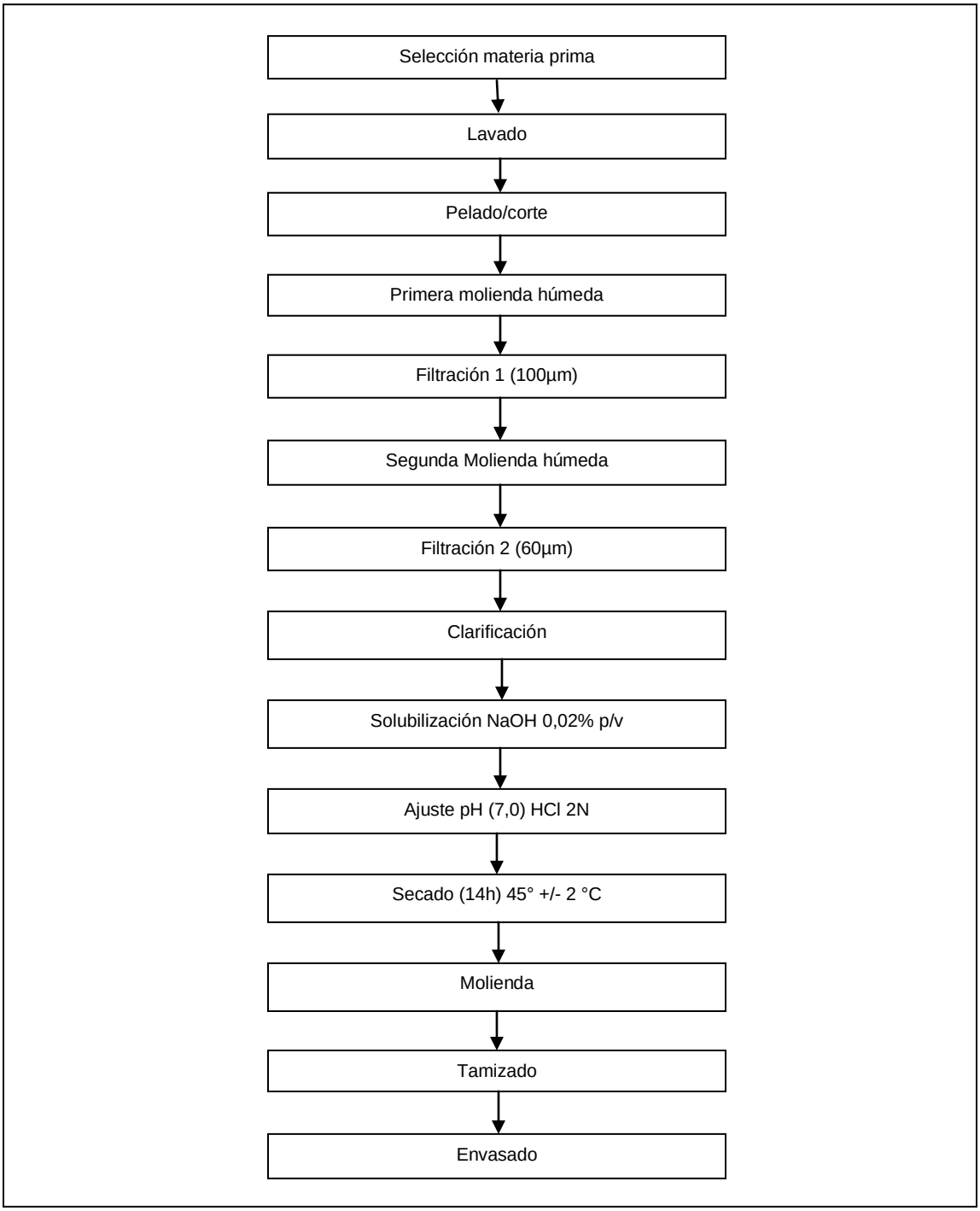


Figura 2. Línea de extracción de almidón de papa.

- Finalizado el último filtrado, se retiró el sobrenadante y se agregó 2 litros de agua hasta obtener un sobrenadante claro, esto ocurre en un tiempo aproximado de 1,5 horas.
- Luego de retirar el sobrenadante se adicionó una solución de NaOH 0,02% p/v para solubilizar las proteínas y se dejó decantar por 2 horas.
- Luego de retirar el sobrenadante se agregó agua destilada y se ajustó el pH con HCl 2 N, hasta obtener un pH 7,0.
- La muestra de almidón depositada en un papel filtro se dejó en el mismo papel poniéndolas a secar en una estufa a 45 +/- 2 °C por 14 horas*.*
- La muestra ya seca fue retirada del papel Whatman y se hizo pasar por un molino.
- Una vez finalizada la molienda, la muestra se hizo pasar por un tamiz de 500 µm y 250 µm respectivamente, para luego envasarlas en bolsas plásticas.

2.2.2 Análisis proximal. Para determinar la pureza del almidón extraído, se realizó un análisis proximal, considerando las siguientes determinaciones.

- Humedad, **l**as muestras fueron colocadas en una estufa a 70 ºC por 14 horas hasta peso constante (Método AOAC).
- Proteínas, por método Kjeldhal (Método AOAC).
- Cenizas, por calcinación a 550 ºC (Método AOAC).

2.2.3 Determinación del contenido de fósforo. Para determinar el contenido de fósforo en el almidón extraído, se utilizó la técnica de fosfolípidos según COLOMBIA, INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC (2001), con algunas modificaciones según los requerimientos para este análisis. El fósforo en los tubérculos y raíces se encuentra principalmente en forma de fosfatos monoesteres, los cuales actúan como grupos con carga negativa. Estos aniones forman un compuesto de color amarillo con el molibdovanadato, el cual es cuantificado espectrofotométricamente (FAO, 2007). A continuación se describen las etapas del proceso.

Se preparó un reactivo de molibdovanadato de amonio para la preparación de la curva estándar de fósforo. El análisis se realizó para 8 muestras de almidón en triplicado. Se pesaron 5 g de almidón en un crisol de porcelana, Los que fueron incinerados en una

mufla a 550°C durante 2 horas. A la muestra incinerada se le agregó ácido clorhídrico concentrado y se agitó hasta mezclar bien la muestra calentándola hasta ebullición o hasta la desaparición de humos amarillos. La muestra mezclada se dejó enfriar y se agregó ácido clorhídrico con una concentración 6 M para seguir con la digestión, la que luego se calentó levemente para dejarla enfriar y completar la digestión con ácido nítrico concentrado hasta disolución total. Después de enfriar la muestra se llevó a volumen de 100 mL y se filtró en papel Whatman N°1. Se tomó una alícuota de 50 mL y se agregó 20 mL de reactivo de molibdovanadato de amonio para el desarrollo de color y se dejó reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente para finalmente completar a volumen de 100 mL y leer la absorbancia a una longitud de onda de 400 nm. Preparación de la curva estándar de fósforo (2,0 mg/mL):

- Preparación de solución stock: se secó fosfato de potasio monobásico anhidro a 103 °C, durante una hora y se disolvió 8.788 g en 1 L de agua destilada.
- Se prepararon soluciones estándar de 0,1 mg/mL: dilución de 50 mL de la solución estándar de fósforo en 1 L con agua destilada.
- Se transfirieron alícuotas de 0,1, 0,25, 0,5, 0,8, 1,0, 1,5, 2,0 mg de fósforo (1, 2,5, 5, 8, 10, 15,20 mL) de la solución estándar 0,1 mg/mL a matraces aforados de 100 mL, adicionando 20 mL de reactivo de molibdovanadato de amonio y continuar como en las muestras.

2.2.4 Calorimetría diferencial de barrido. Las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación fueron analizadas a través de un calorímetro diferencial de barrido. Se pesó sobre un crisol de aluminio de 40 µL de capacidad, 6 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 90 ºC a una velocidad de 10 °C/min y enfriadas a la misma velocidad hasta 25 ºC. Durante siete días, los crisoles con las muestras analizadas se mantuvieron refrigerados a 4 ºC, 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:

- To (ºC): Temperatura inicial.

- Tp (ºC): Temperatura peak.
- Te (ºC): Temperatura final.
- ΔHgel: Entalpía de gelatinización.
- ΔHret: Entalpía de retrogradación.

El porcentaje de retrogradación para cada muestra se calculó mediante la siguiente fórmula:

(ec. 2.1)

2.2.5 Viscosidad newtoniana equivalente. Se determinó la viscosidad newtoniana equivalente (VNE) como parámetro del comportamiento reológico de las distintas variedades de almidón, preparándose una solución al 6 % p/p. Esta solución fue calentada hasta 85 ºC y luego enfriadas hasta 25 ºC.

Se midió la VNE del gel de almidón a cuatro temperaturas constantes: 85, 65, 45 y 25 ºC.

3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Características físicas y químicas de los almidones extraídos

Las características físicas y químicas, tales como el rendimiento de la extracción y el análisis proximal de este proceso, fueron consideradas vitales para el buen desarrollo de esta investigación.

3.1.1 Extracción A través del CUADRO 2 se puede observar el rendimiento del almidón extraído de las distintas variedades de papa, donde el rendimiento en base húmeda estuvo entre un 10,87 y un 11,76%, un tanto menor que lo obtenido por OJEDA (2008), que fue de un 13,45%. Para el rendimiento en base seca los valores estuvieron entre un 54,33 y un 58,78% menor también a lo obtenido por OJEDA (2008), que fue de un 67,81%. Estas diferencias pueden deberse a fluctuación natural en el contenido de almidón de las distintas variedades de papas analizadas.

CUADRO 2. Rendimientos en la extracción de almidón

Variedad	Rendimiento en Base húmeda*(%)	Rendimiento en Base seca*(%)
180 UA 1020	10,87 ± 0,53	54,33 ± 2,67
NG 89	10,93 ± 0,64	54,67 ± 3,21
NG 65	11,02 ± 0,97	55,11 ± 4,86
93 COCH 9	11,16 ± 0,91	55,78 ± 4,53
364 CON 1131	11,29 ± 0,67	56,44 ± 3,36
181 UA 1022	11,40 ± 0,68	57,00 ± 3,38
CHILCA	11,42 ± 0,90	57,11 ± 4,48
355 CON 1148	11,76 ± 0,40	58,78 ± 2,01

*Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± desviación estándar

3.1.2 Análisis proximal. En el CUADRO 3 se observan los valores obtenidos del análisis proximal de almidón extraído para tres variedades de papa. Las muestras fueron sometidas a distintos análisis químicos para conocer su composición proximal con el fin de determinar la calidad del proceso de extracción, a través, de la pureza del almidón.

El contenido de humedad para 3 muestras elegidas al azar fue entre 8,13 a 8,43%. En tanto el contenido de proteína, para estas mismas muestras fue entre un 0,62 a un 0,71% un tanto menor a lo obtenido por OJEDA (2008), que fue de un 0,77% y el contenido de cenizas estuvo entre 0,10 y 0,13%.

CUADRO 3. Composición proximal de las muestras de almidón

Variedad	Humedad* (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)
93 COCH 9	8,43 ± 0,28	0,62	0,10
CHILCA	8,32 ± 0,31	0,65	0,13
355 CON 1148	8,13 ± 0,36	0,71	0,10

*Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± desviación estándar

3.1.3 Determinación del contenido de fósforo. En el CUADRO 4 se muestran los valores obtenidos de este análisis para cada una de las muestras de almidón. Para la preparación de la curva estándar de fósforo se disminuyó el punto inferior de esta, de 5 mL a 1 y 2,5 mL debido a que en un análisis previo de ensayo, para una muestra de 2 g, esta estuvo por debajo de los 5 mL en términos de desarrollo de color. El análisis del contenido de fósforo de las muestras de almidón entregó un amplio rango de valores de concentración, entre 655,7 a 1214,4 ppm, estos valores son muy similares a los obtenidos por ZAIDUL *et al.,* (2007) que obtuvo valores entre 541 a 1138 ppm para almidones de papa de localidades de Japón.

Cuadro 4 Análisis del contenido total de fósforo

Variedad	Fósforo* (ppm)
NG 89	655,7^{c}
364 CON 1131	683^{c}
NG 65	691,8^{bc}
181 UA 1022	753,3^{bc}
93 COCH 9	764,8^{bc}
180 UA 1020	1011,3^{ab}
355 CON 1148	1115,9^{a}
CHILCA	1214,4^{a}

*Valores corresponden a la media de tres repeticiones
Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (p≤0,05).

Este amplio rango obtenido fue vital para el desarrollo posterior de esta investigación, ya que permitió establecer con mayor claridad la influencia del contenido de fósforo en las propiedades del almidón. De la misma manera se comprobó que las muestras eran estadísticamente diferentes con un p≤0,05. NODA *et al.,* (2007) en una investigación sobre el contenido de fósforo en almidón de papa, clasificaron a este en tres niveles de acuerdo a su contenido de fósforo: (1) almidón con bajo contenido de fósforo, LPS (308 – 395 ppm); (2) almidón de contenido medio de fósforo, MPS (711 – 716 ppm); y (3) almidón con alto contenido de fósforo, HPS (1110 – 1244 ppm), estos niveles fueron establecidos específicamente para el contenido de fósforo de las muestras de esa investigación. En base a este criterio de clasificación se organizaron las muestras de acuerdo a los valores obtenidos en esta investigación, clasificándolas de la siguiente manera, LPS (655,7 – 691,8 ppm), MPS (753,3 – 764,8 ppm) Y HPS (1011,3 – 1214,4 ppm).

Se ha comprobado a través de diferentes estudios que el almidón de papa contiene la mayor cantidad de fósforo en su estructura. En el CUADRO 5 se muestra una

comparación entre almidones de papa y otras variedades. Se debe mencionar que en diversas investigaciones se ha observado una gran variabilidad en el contenido de fósforo en papa, desde 100 hasta más de 1000 ppm, lo que se vio también en este preciso estudio.

CUADRO 5. Contenido de fósforo en almidón de distintas fuentes botánicas

Fuente	Fósforo (ppm)
Papa	604
Yuca	117 – 135
Maiz	15 – 27
Arroz	8 – 13

FUENTE: Adaptado de TESTER *et al.,* (2004).

3.2 Viscosidad newtoniana equivalente

Las propiedades de gel preparados con almidones extraídos a una concentración de 6% p/p fueron analizadas a través de las lecturas de viscosidad newtoniana equivalente (VNE) obtenidas del viscosímetro Visco Star R, a una velocidad de rotación de 60 rpm. Este parámetro se utilizó para obtener alguna referencia del comportamiento reológico de las muestras analizadas.

En el CUADRO 6 se puede observar los valores obtenidos de VNE para las distintas muestras analizadas, donde las variedades con mayor contenido de fósforo (HPS) mostraron los más altos índices de viscosidad.

Las propiedades de gel medidas mostraron un aumento en la VNE a partir de los 45°C y más aún al llegar a los 25°C. Como se puede observar en la muestra “93 COCH 9” la viscosidad a los 25°C aumentó al doble con respecto a la temperatura inicial de 85°C.

CUADRO 6. Viscosidad newtoniana equivalente durante el enfriamiento de las pastas (1 cP ≡ 1mPa s)

Variedad	85°C (cP)*	65°C (cP)*	45°C (cP)*	25°C (cP)*
NG 89	1933,3^{c}	2133,3^{c}	2300^{c}	2466,6^{d}
364 CON 1131	2100^{bc}	2200^{c}	2366,6^{c}	2566,6^{d}
NG 65	2200^{bc}	2300^{bc}	2466,6^{bc}	2700^{d}
181 UA 1022	2300^{b}	2500^{b}	2900^{b}	3900^{c}
93 COCH 9	2166,6^{bc}	2466,6^{b}	3000^{b}	4233,3^{b}
180 UA 1020	3266,6^{a}	3633,3^{a}	4266,6^{a}	5166,6^{a}
355 CON 1148	3366,6^{a}	3700^{a}	4200^{a}	5066,6^{a}
CHILCA	3333,3^{a}	3700^{a}	4366,6^{a}	5300^{a}

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

En la FIGURA 3 se muestran las curvas de viscosidad newtoniana equivalente de dos muestras de almidón de papa, las cuales representan ambos extremos sobre el aumento de viscosidad con respecto a la viscosidad inicial de la pasta. La solución de almidón de papa fue preparada al 6% p/p. La muestra “364 CON 1131” presenta un aumento de la viscosidad entre los 85 y 25 ºC con valores que oscilan entre 2100 y 2567cP. Para ambas muestras, las curvas de evolución presentan un cambio pronunciado a partir de 45 ºC. Esta tendencia observada en el aumento de la viscosidad durante el enfriamiento fue muy similar a la obtenida por OJEDA (2008) para el mismo estudio en almidón de papa. A través de los resultados obtenidos se puede observar una relación directamente proporcional entre el contenido de fósforo y la viscosidad de las muestras.

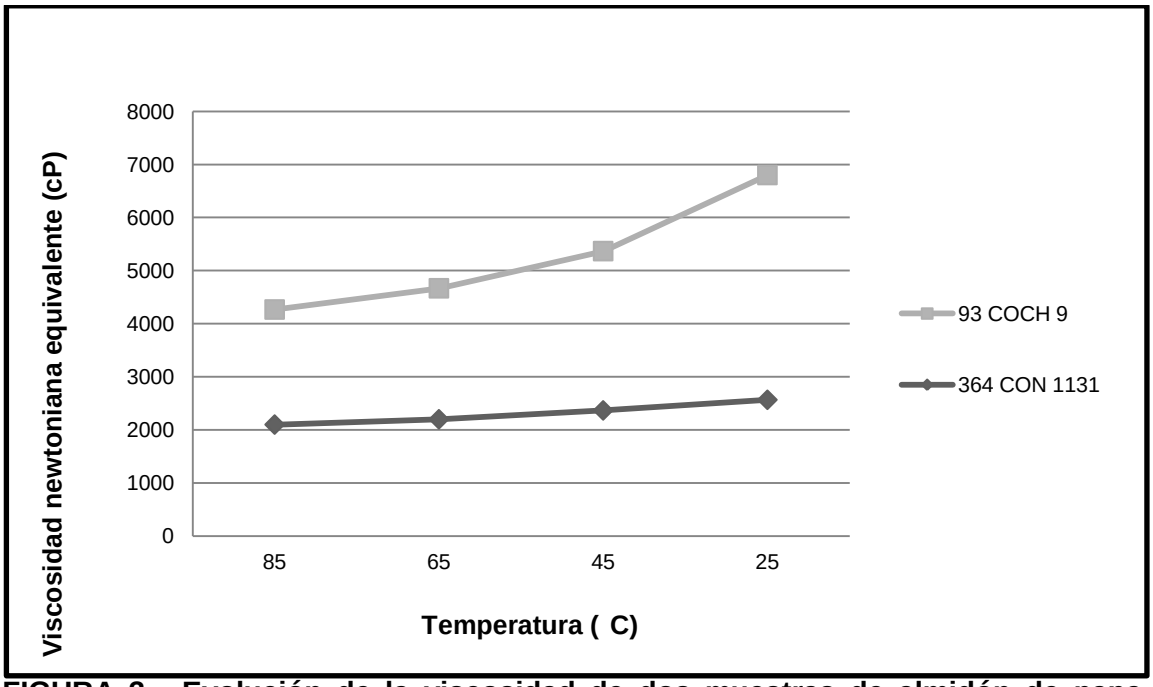


FIGURA 3. Evolución de la viscosidad de dos muestras de almidón de papa durante el enfriamiento a una velocidad de rotación de 60 rpm.

Según ZAIDUL *et al.,* (2007), como el fósforo está unido covalentemente a la moléculas de amilopectina, un alto contenido de fósforo en el almidón de papa, por lo general indica un menor contenido de amilosa.

Cuando la amilopectina es calentada en agua, forma una solución transparente, de alta viscosidad, pegajosa y cohesiva (BELITZ *et al.,* 2009). El fósforo en el almidón se encuentra en tres formas principales: fosfato monoéster, fosfolípidos, y fosfato inorgánico. Según Lim et al (1994) y Kasemsuwan y Jane (1996), citados por LIN y CZUCHAJOWSKA (1998) el contenido de fósforo en los almidones de cereales normales es 0,02- 0,06%, principalmente en forma de fosfolípidos. El fosfato monoéster aumenta la claridad y la viscosidad de la pasta, mientras que los fosfolípidos hacen que la pasta de almidón sea opaca y que disminuya su viscosidad. Esto explica las altas viscosidades obtenidas en las muestras con mayor contenido de fósforo.

En la FIGURA 4, se muestra la relación entre el contenido de fósforo y la viscosidad de las muestras a 25 y 85°C, donde se aprecia un aumento en la viscosidad al aumentar el contenido de fósforo. Este aumento es más pronunciado a los 25 °C donde se puede apreciar que para los almidones HPS, el valor de la viscosidad supera los 5000 cP. Los

valores de viscosidad pueden variar con la temperatura, velocidad y concentración de la solución de almidón utilizada en el viscosímetro. 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).

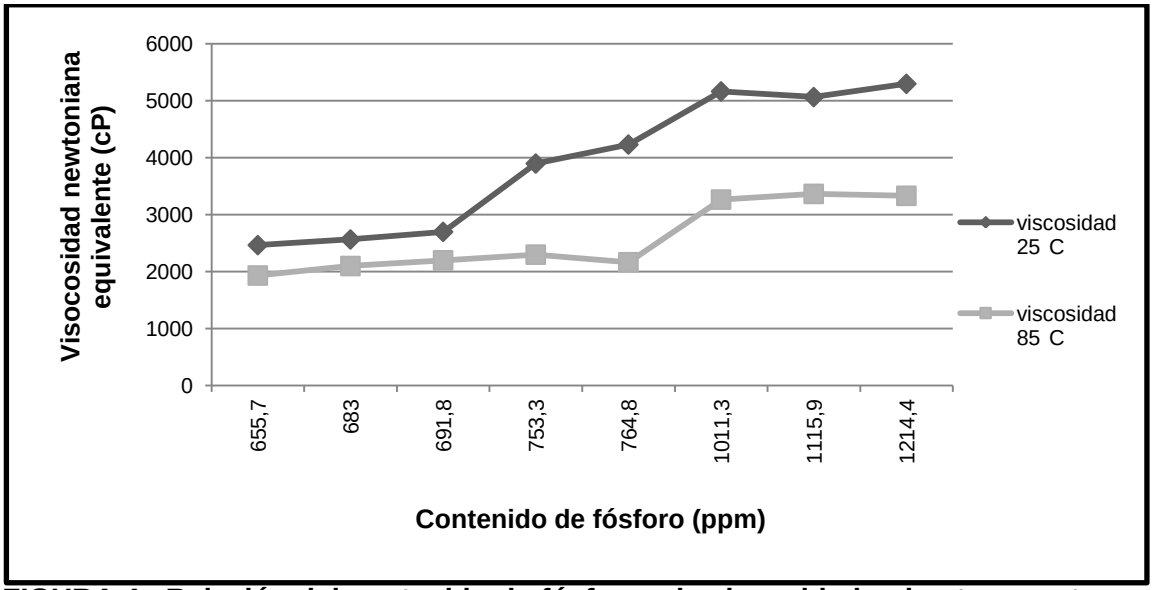


FIGURA 4. Relación del contenido de fósforo y la viscosidad a dos temperaturas de pasta preparadas al 6% p/p.

3.3 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de gelatinización y de retrogradación fueron evaluadas por la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), muy utilizada en la actualidad, la cual mide la energía absorbida o liberada por una muestra cuando ocurre una transición de fase.

3.3.1 Propiedades térmicas de gelatinización. En el CUADRO 7 se muestran las propiedades térmicas de gelatinización correspondientes a temperatura inicial (To), peak (Tp) y final (Te), como también la entalpía (ΔHgel) para las distintas muestras de almidón analizadas.

CUADRO 7. Propiedades térmicas de gelatinización

Variedad	To (°C)*	Tp (°C)*	Te (°C)*	∆Hgel (J/g)*
NG 89	60,12 ± 0,60^{b}	63,77 ± 0,57^{b}	70,34 ± 0,52^{b}	14,58 ± 0,14^{b}
364 CON 1131	60,83 ± 0,20^{b}	64,73 ± 0,35^{b}	71,22 ± 0,58^{b}	16,89 ± 1,61^{a}
NG 65	59,89 ± 0,13^{b}	63,90 ± 0,11^{b}	70,54 ± 0,14^{b}	14,50 ± 0,09^{b}
181 UA 1022	60,32 ± 0,42^{b}	63,90 ± 0,26^{b}	70,71 ± 0,11^{b}	15,56 ± 1,08^{ab}
93 COCH 9	59,72 ± 0,76^{b}	64,16 ± 0,61^{b}	71,15 ± 0,93^{b}	14,27 ± 0,97^{b}
180 UA 1020	60,11 ± 0,20^{b}	63,80 ± 0,35^{b}	70,29 ± 0,46^{b}	14,52 ± 0,38^{b}
355 CON 1148	62,74 ± 0,91^{a}	66,96 ± 1,11^{a}	74,17 ± 1,28^{a}	15,50 ± 0,29^{ab}
CHILCA	62,61 ± 0,16^{a}	66,46 ± 0,33^{a}	73,43 ± 0,35^{a}	15,52 ± 0,22^{ab}

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

Las propiedades térmicas de gelatinización, evaluadas a través del método de DSC, mostraron una diferencia estadísticamente significativa (p≤0,05) entre las distintas variedades de almidón para To, Tp, Te y ∆Hgel. Estos valores son muy similares a los obtenidos por SINGH *et al.,* (2006) en una investigación de las propiedades térmicas

de almidones de papa de distintos cultivos. KAUR *et al.,* (2009), quién realizó un estudio de las propiedades del almidón de variedades de papa almacenadas en distintas condiciones ambientales, señaló que estos almidones mostraron diferencias significativas en las temperaturas de transición. Los almidones de papa almacenada a 4 °C mostraron menor To, Te y ∆Hgel que almidones de papa almacenada a 8, 12, 16 y 20 °C. Como en este estudio las variedades de papa utilizadas, se almacenaron en las mismas condiciones ambientales, estas diferencias en las temperaturas de transición se pueden atribuir entre otras a la presencia de monoésteres de fosfato en el almidón. Wischmann *et al.,* (2005) y Noda *et al.,* (2005), citados por SINGH *et al.,* (2006), señalan que la variación en las propiedades térmicas en el almidón de papa se puede atribuir a las diferencias en el contenido de fósforo y de amilosa. Según Muhrbeck *et al.,* (1991) citado por YONEYA *et al.,* (2003), el contenido de fósforo afecta el patrón de ramificación en el almidón, lo que influye en el comportamiento térmico. La presencia de monoésteres de fosfato ligado directamente a las moléculas de amilopectina es una característica casi única del almidón de papa.

En la FIGURA 5, se puede observar la influencia del contenido de fósforo en las temperaturas inicial To y en la temperatura peak Tp de gelatinización. Los valores de To fueron significativamente más altos para HPS (62,61 y 62,74 °C) que para los MPS (59,72 y 60,32 °C) y LPS (59,89; 60,12 y 60,83 °C). En cuanto a la temperatura máxima de gelatinización, presentó la misma tendencia ya que los valores más altos para Tp fueron HPS (66,46 y 66,96 °C), seguidos de MPS (64,16 y 63,9 °C) y los más bajos LPS (64,73; 63,9 y 63,77 °C). Sin embargo la diferencia en los valores promedios de To y Tp, no son particularmente grandes, alrededor de 3 °C, entre los HPS, MPS y LPS. Esta relación es muy similar a la obtenida por NODA *et al.,* (2007) en un estudio sobre el contenido de fósforo en almidones de distintas variedades de papa cultivadas en estaciones de crecimiento en Japón y otras localidades. LU *et al.,* (2011), obtuvo resultados distintos para los picos máximos de gelatinización en sus muestras, con respecto a su contenido de fósforo, no pudiendo observarse ninguna relación entre estos. Sin embargo, con los valores obtenidos para ∆Hgel, estos incrementaron conjuntamente con el incremento de fósforo. Como se muestra en el CUADRO 8, esta relación no fue observada en esta investigación.

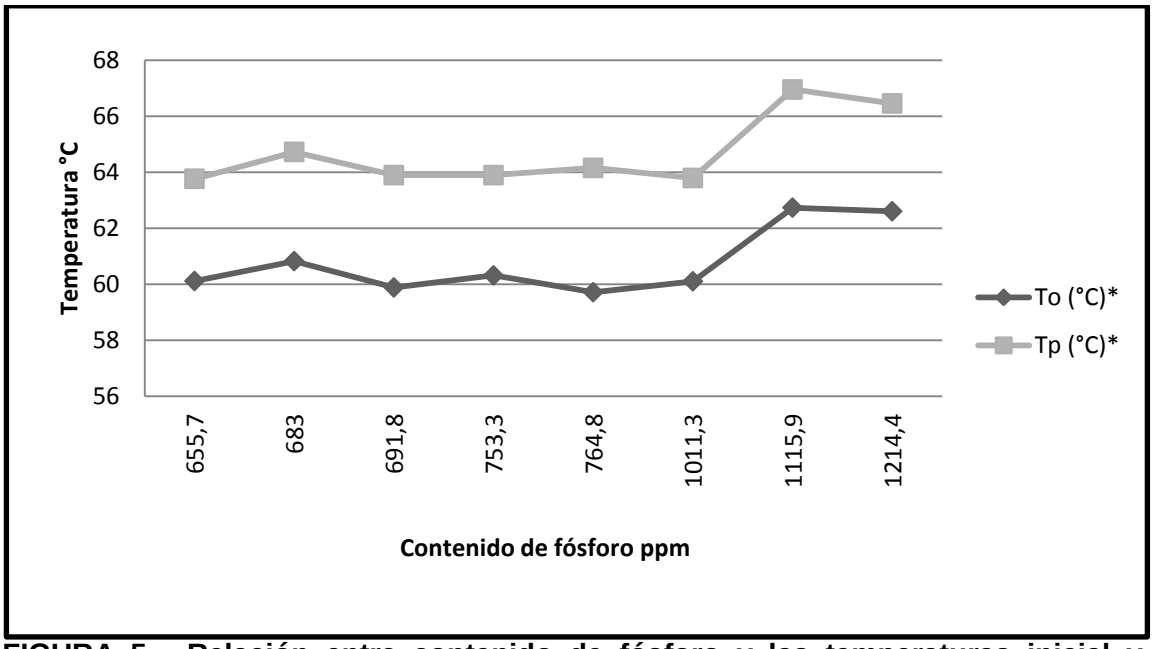


FIGURA 5. Relación entre contenido de fósforo y las temperaturas inicial y máxima de gelatinización.

CUADRO 8. Relación entre el contenido de fósforo y la entalpía de gelatinización

Variedad	**Fósforo**	**∆Hgel (J/g)***
NG 89	655,7^{c}	14,58 ± 0,14^{b}
364 CON 1131	683,0^{c}	16,89 ± 1,61^{a}
NG 65	691,8^{bc}	14,50 ± 0,09^{b}
181 UA 1022	753,3^{bc}	15,56 ± 1,08^{ab}
93 COCH 9	764,8^{bc}	14,27 ± 0,97^{b}
180 UA 1020	1011,3^{ab}	14,52 ± 0,38^{b}
355 CON 1148	1115,9^{a}	15,50 ± 0,29^{ab}
CHILCA	1214,4^{a}	15,52 ± 0,22^{ab}

*Valores corresponden a la media de tres repeticiones ± desviación estándar
Valores con diferente letra en una misma columna son estadísticamente diferentes (p≤0,05).

La no correlación entre el contenido de fósforo y la entalpía observada en el CUADRO 8, se puede deber a diversos factores, como distintas conformaciones estructurales en los gránulos de almidón. KAUR *et al.,* (2009) señalaron que en almidones con mayor cristalinidad se han observado mayores temperaturas de transición, así como mayor entalpía de gelatinización. Barrichello *et al.*, (1990), citado por SINGH *et al.,* (2008) reportaron que la transición más alta de temperaturas es resultado de un mayor grado de cristalinidad, que proporciona estabilidad estructural y hace que los gránulos sean más resistentes a la gelatinización. Sus resultados también revelaron que los almidones con largas cadenas ramificadas de moléculas de amilopectina mostraron un aumento de la entalpía de gelatinización, lo que indica que se requiere más energía para gelatinizar los cristales de estas cadenas.

SINGH *et al.,* (2006), señalan que la entalpía de gelatinización proporciona una medida global de la cristalinidad (calidad y cantidad) y es un indicador de la pérdida del orden molecular dentro del gránulo, que se produce en la gelatinización. En el ANEXO 1 se muestran algunas curvas de gelatinización y retrogradación.

3.3.2 Propiedades térmicas de almidón retrogradado. Las propiedades térmicas de retrogradación tales como la temperatura inicial (To), peak (Tp) y final (Te) y la entalpía (ΔHret) son mostradas en el CUADRO 9, además se presenta el porcentaje de retrogradación (%R) definido como el cociente entre entalpía de retrogradación y entalpía de gelatinización multiplicado por cien. Los valores obtenidos para To, no presentaron diferencias significativas, a diferencia de las demás variables donde si hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$). WISCHMANN *et al.,* (2005), señalan que la estabilidad de almidón gelatinizado es de suma importancia cuando se evalúa almidones para su uso en productos alimenticios. El almidón gelatinizado tiende a reasociarse al enfriar formando una estructura cristalina, proceso conocido como retrogradación. Así mismo Miles *et al.,* (1985), citado por SANDHU *et al.,* (2010) señalan que la firmeza del gel es causada principalmente por la retrogradación de geles de almidón, que se asocia con la sinéresis de agua y la cristalinización de la amilopectina, dando lugar a geles firmes. En general las temperaturas de transición en la retrogradación fueron más bajas que las encontradas en la gelatinización, según Sandhu y Singh (2007), citados por OJEDA (2008), esto puede deberse al hecho de

que la recristalización de las cadenas ramificadas de amilopectina ocurrió de una forma menos ordenada en los geles almacenados.

Cuadro 9. Propiedades térmicas de retrogradación

Variedad	To (°C)*	Tp (°C)*	Te (°C)*	∆Hret (J/g)*	(%R)**
NG 89	40,36	59,88^{b}	66,05^{b}	0,65^{c}	4,47 ± 2,63^{bc}
364 CON 1131	44,40	60,48^{ab}	67,76^{ab}	1,29^{b}	7,58 ± 1,26^{bc}
NG 65	42,65	59,18^{b}	67,84^{ab}	2,69^{a}	18,53 ± 0,76^{a}
181 UA 1022	38,75	60,26^{b}	66,38^{b}	0,62^{c}	3,94 ± 0,45^{c}
93 COCH 9	42,38	60,21^{b}	67,31^{ab}	1,02^{bc}	7,13 ± 0,16^{bc}
180 UA 1020	41,83	61,09^{ab}	66,88^{b}	0,60^{c}	4,15 ± 0,41^{c}
355 CON 1148	32,53	61,32^{ab}	67,98^{ab}	0,64^{c}	4,11 ± 1,01^{c}
CHILCA	39,09	61,86^{a}	69,56^{a}	1,29^{b}	8,30 ± 0,81^{b}

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

Las entalpías de retrogradación presentaron valores muy bajos con respecto a los obtenidos en la gelatinización, esto quiere decir que es menor la energía necesaria para fundir las cadenas de almidón retrogradado. Los resultados obtenidos por CHUNG Y LYU (2010) para To y Tp fueron muy similares, con valores para To que van de 41,5 a 47,7 °C y 62,6 a 67,3 °C para Tp, en tanto CHIOTELLI y MESTE, (2003) también obtuvieron valores muy similares en To (42 a 42,6 °C). Por otra parte LU *et al.,* (2011) presentó valores similares también en To (36,4 a 41 °C), a diferencia de los resultados obtenidos para Tp que fueron algo más bajos, entre 51,1 a 54 °C. GOMAND *et al.,* (2010) obtuvieron valores de ∆Hret entre 0,71 a 0,92 (J/g) para almidones de papa con un tiempo de siete días de almacenamiento, estos valores son similares a los presentados en este estudio.

En la FIGURA 6 se muestra la relación entre el contenido de fósforo con las variables antes mencionadas.

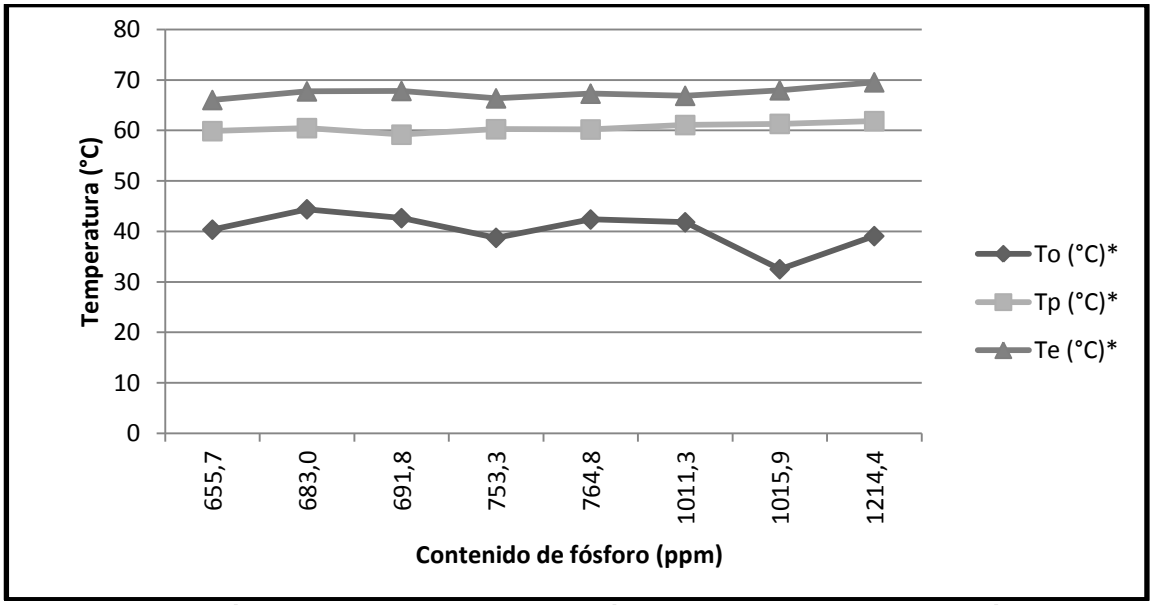


Figura. Relación entre el contenido de fósforo y las propiedades térmicas de retrogradación.

Como se observa en la FIGURA 6 no hubo una clara relación entre el fósforo y las variables de las propiedades térmicas de retrogradación. Para Tp y Te se puede observar un ligero aumento de temperatura con las muestras HPS. En esta investigación no hubo un impacto del contenido de fósforo en el ΔH, esta situación también fue observada por NODA *et al.,* (2007) en un estudio sobre el efecto del contenido de fósforo en otras propiedades del almidón. La retrogradación se ve altamente afectada por el contenido de amilosa, como en este estudio se desconoce el porcentaje de amilosa de las muestras no se puede establecer una relación entre esta propiedad térmica de las pastas de almidón y su contenido de amilosa. Según LIU *et al.,* (2007) en un sistema de gel de almidón, un mayor contenido de amilosa aumenta la retrogradación. A medida que posteriormente el sistema se enfría, la reasociación entre las moléculas de almidón, especialmente amilosa, se produce en diversos grados.

4 CONCLUSIONES

- El contenido de fósforo fue bastante similar a las referencias encontradas en la literatura, con un amplio rango, que permitió establecer una clasificación para diferenciar las muestras de acuerdo a su contenido de fósforo. El almidón de papa, a diferencia de otros almidones de distintas fuentes, posee un mayor contenido de fósforo.

- En cuanto a las propiedades térmicas de gelatinización, se pudo observar una estrecha relación de éstas con el contenido de fósforo de las muestras, siendo precisamente las muestras con mayor contenido de este las que presentaron valores más altos en las temperaturas de transición. Las entalpías tuvieron una menor correlación con el contenido de fósforo.

- Respecto a las propiedades térmicas de retrogradación, no se observó un impacto del contenido de fósforo en su comportamiento; se considera que otros factores pueden estar afectando, como la relación amilosa - amilopectina.

- La viscosidad mostró una tendencia a aumentar al bajar la temperatura, siendo más apreciable desde los 45 hasta los 25 °C. Se observó una estrecha relación con el contenido de fósforo, ya que las muestras consideradas de alto contenido de este, presentaron un claro aumento en su viscosidad. Se interpreta que esto se debe al entrecruzamiento de las moléculas promovido por el fósforo presente.

- Se puede observar que efectivamente el contenido de fósforo en el almidón cumple un rol importante en algunas propiedades termofísicas. Se puede mencionar que para un mejor entendimiento de la influencia del fósforo sobre las propiedades de geles de almidón, sería recomendable el estudio y la comparación con otros parámetros que no fueron considerados en esta investigación, tales como la relación de amilosa – amilopectina, el poder de hinchamiento y el tamaño de gránulo.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELITZ, H., GROSCH, W. y SCHIEBERLE, P. 2009. Food Chemistry. Springer-Verlag. Berlin. 1070 p.

BELLO, J. 2000. Ciencia Bromatológica. Díaz de Santos. España. 596 p.

BROWN, A. 2011. Understanding food: principles and preparation. Wadsworth. USA. 625 p.

CAMPBELL, G. 2009. Food science and technology. Blackwell Publishing Ltd.USA. 520 p.

CHIOTELLI, E. y MESTE, M. 2003. Effect of triglycerides on gelatinisation and rheological properties of concentrated potato starch preparations. Food Hydrocolloids. 17: 629 – 639.

CHUNG, H. y LIU, Q. 2010. Molecular structure and physicochemical properties of potato and bean starches as affected by gamma-irradiation. International Journal of Biological Macromolecules 47: 214–222

COULTATE, T. 2009. Food The Chemistry of its Components. Royal Society of Chemistry. Inglaterra. 501p.

FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Acribia Zaragoza. España. 1250 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. FAO, 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la Fao 163. 134 p.

GOMAND, S., LAMBERTS, L., VISSER R. y DELCOUR J 2010. Physicochemical properties of potato and cassava starches and their mutants in relation to their structural properties. Food Hydrocolloids 24: 424–433.

HUI, Y., NIP W., NOLLET, L., PALIYATH, G. y SIMPSON, B. 2006. Food Biochemistry and Food Processing. John Wiley and Sons. 769 p.

COLOMBIA, INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC. 2001. Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico. NTC 4981 .Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá.

IQBAL, S. y MIDO, Y. 2005. Food Chemistry. Discovery Publishing House. 248 p.

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

KAUR, A., SINGH, N., EZEKIEL, R. y SINGH N. 2009. Properties of starches separated from potatoes stored under different conditions. Food Chemistry 114: 1396–1404

LIN, P. y CZUCHAJOWSKA, Z. 1998. Role of Phosphorus in Viscosity, Gelatinization, and Retrogradation of Starch. Cereal Chemistry 75: 705 – 709

LIU, Q., TARN, R., LYNCH, D. y SKJODT, N. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. Food Chemistry 105: 897–907

LU, Z., DONNER, E., YADA, R. y LIU, Q. 2011. The synergistic effects of amylose and phosphorus on rheological, thermal and nutritional properties of potato starch and gel. Food Chemistry.

MCWILLIAMS, M. 2007. Nutrition and Dietetics. Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall. Singapur. 506 p.

NODA, T., KOTTEARACHCHI, N., TSUDA, S., MORI, M.,TAKIGAWA, S., CHIE MATSUURA-ENDO, C., KIMA, S., HASHIMOTO, N. y YAMAUCHI, H. 2007. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum L*.) cultivars and its eVect on other starch properties. Carbohydrate Polymers 68: 793–796

OJEDA, M. 2008. 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.) Tesis Ing. en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 49 p.

PARKER, R. 2001. Introduction to Food Science. Delmar Thomson Learning. USA. 636 p.

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: 532-536

SANDHU, K., KAUR, M. y MUKESH. 2010. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties. Food Science and Technology 43:1289 -1293

SHAKUNTALA, N. y SHADAKSHARASWAMY, M. 2001. Food: Facts And Principles. New Age International. 564 p.

SINGH, J., MCCARTHY, O. y SINGH,H. 2006. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. Carbohydrate Polymers 64: 569–581

SINGH, N., ISONO, N., SRICHUWONG, S., NODA, T. y NISHINARI, K. 2008. Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. Food Hydrocolloids 22: 979–988

SINNOT, G. 2007. Carbohydrate Chemistry and Biochemistry: Structure and Mechanism. Royal Society of Chemistry. 748 p.

TESTER, R; KARKALAS, J y QI, X. 2004. Starch composition, fine structure and architecture. Journal of Cereal Science 39: 151–165

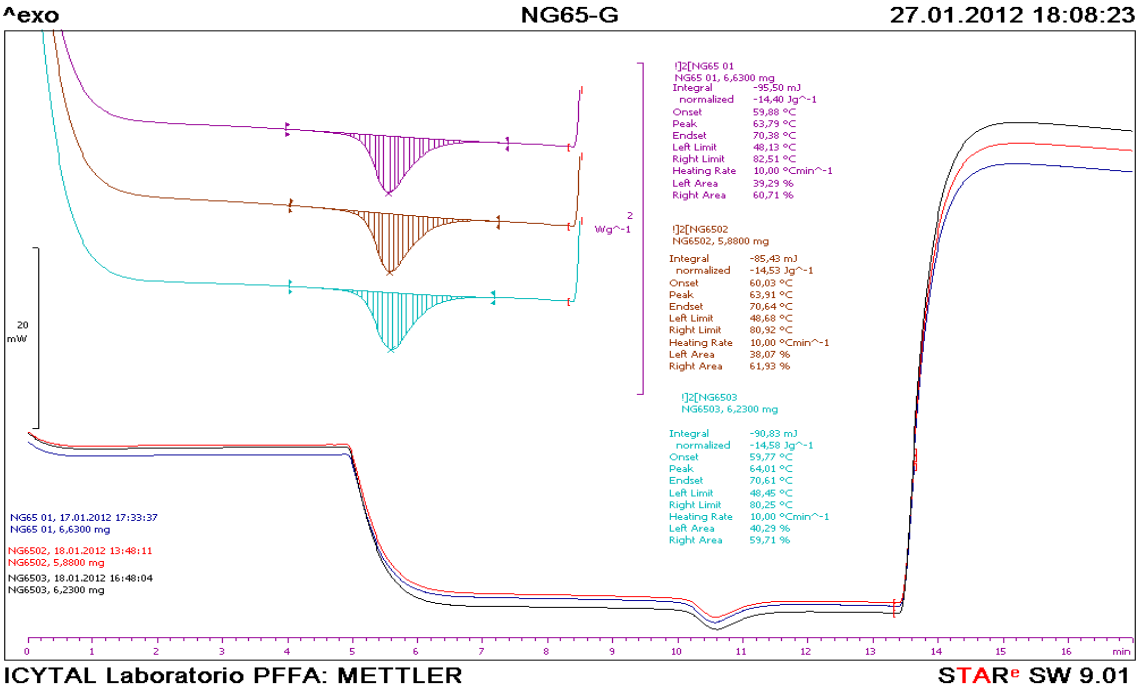
WISCHMANN, B., BLENNOW, A., MADSEN, F., JORGENSEN, K., POULSEN, P y BANDSHOLM, O. 2005. Functional characterisation of potato starch modified by specific in planta alteration of the amylopectin branching and phosphate substitution. Food Hydrocolloids 19: 1016–1024

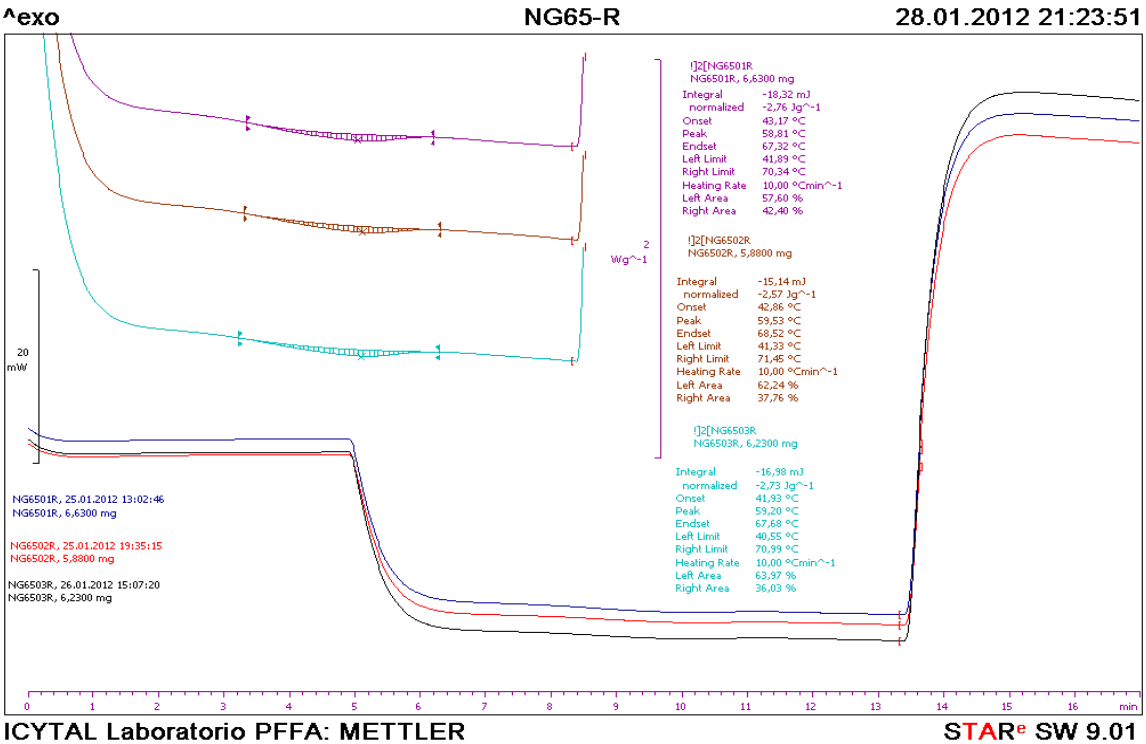
YONEYA, T., ISHIBASHI, K., HIRONAKA, K. y YAMAMOTO, K. 2003. Influence of cross-linked potato starch treated with POCl3 on DSC, rheological properties and granule size. Carbohydrate Polymers 53: 447–457

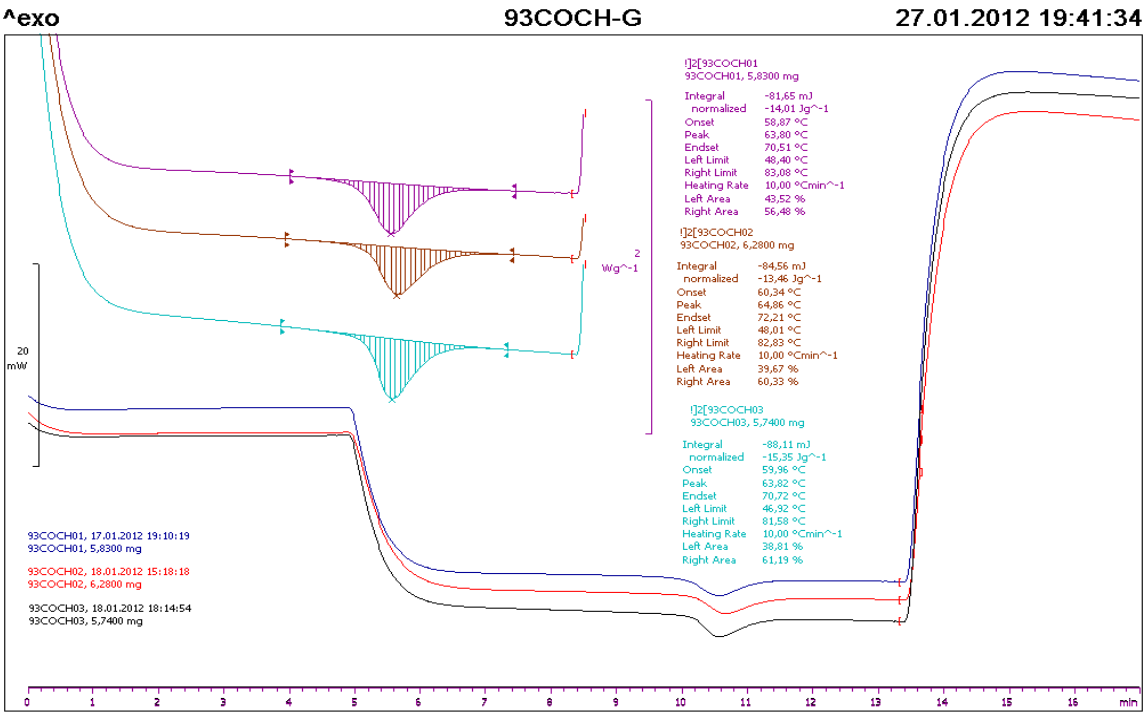
ZAIDUL, I., YAMAUCHI, H., KIM, S., HASHIMOTO, N. y NODA, T. 2007. RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus contents. Food Chemistry 102: 1105–1111

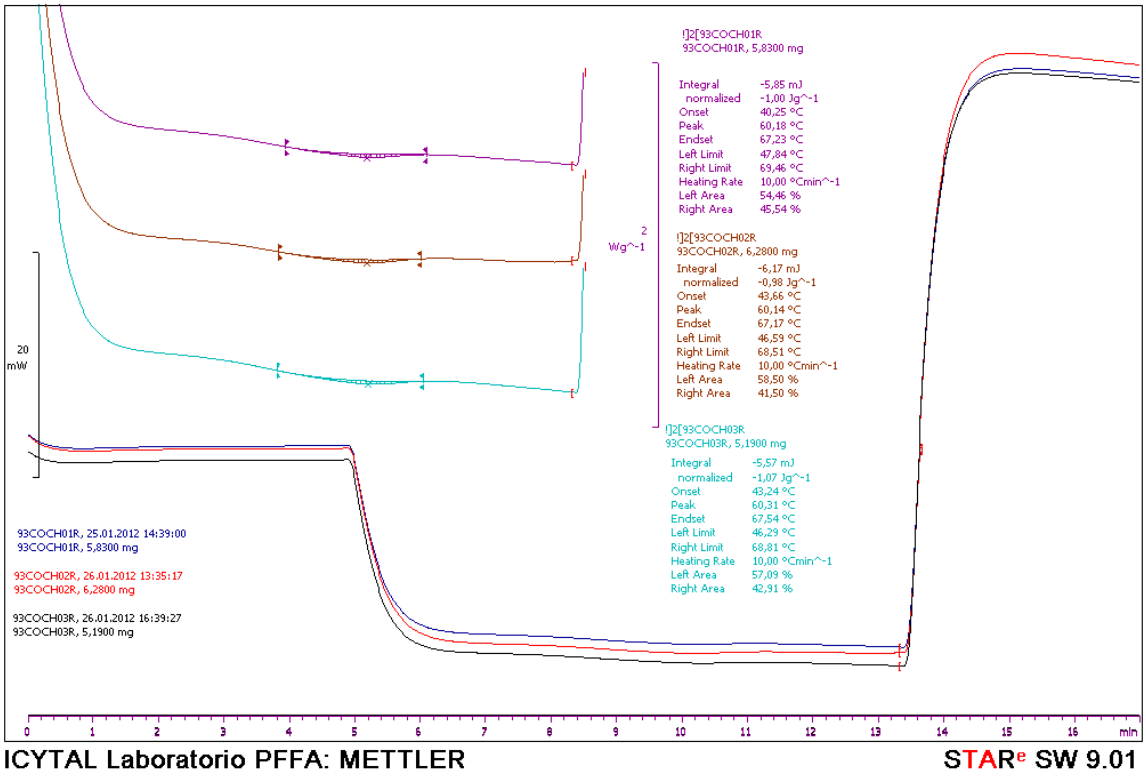
6 ANEXOS

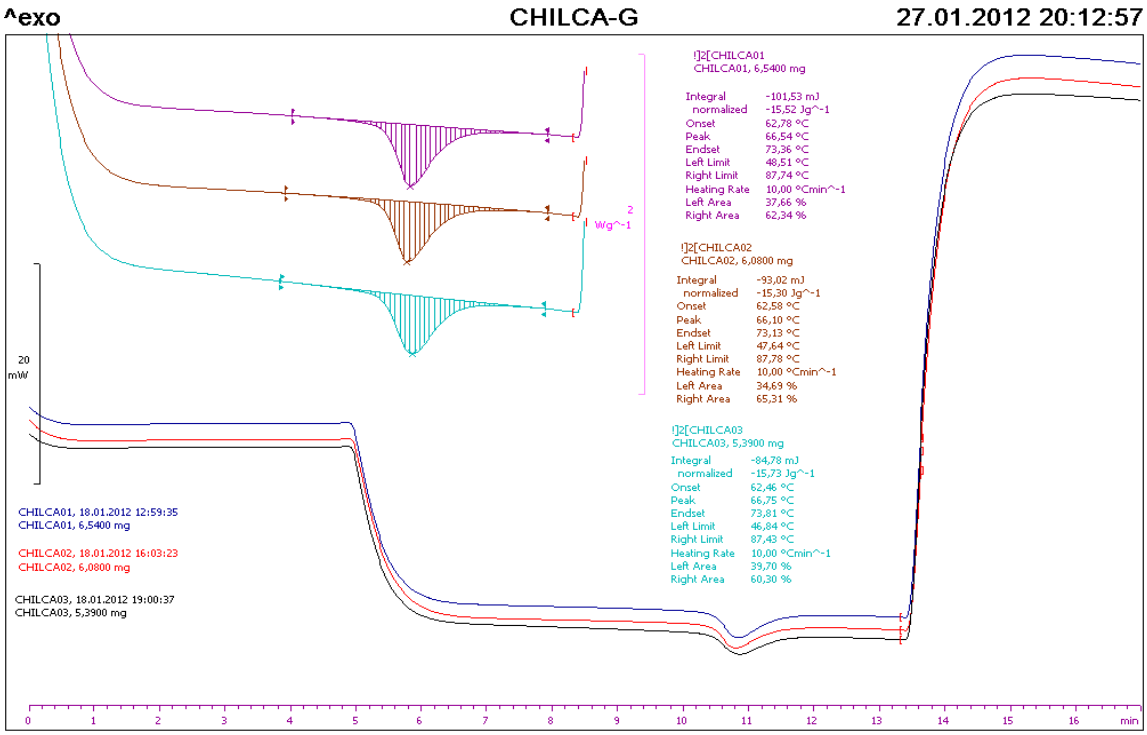
ANEXO 1 Curvas de gelatinización y retrogradación de las muestras analizadas

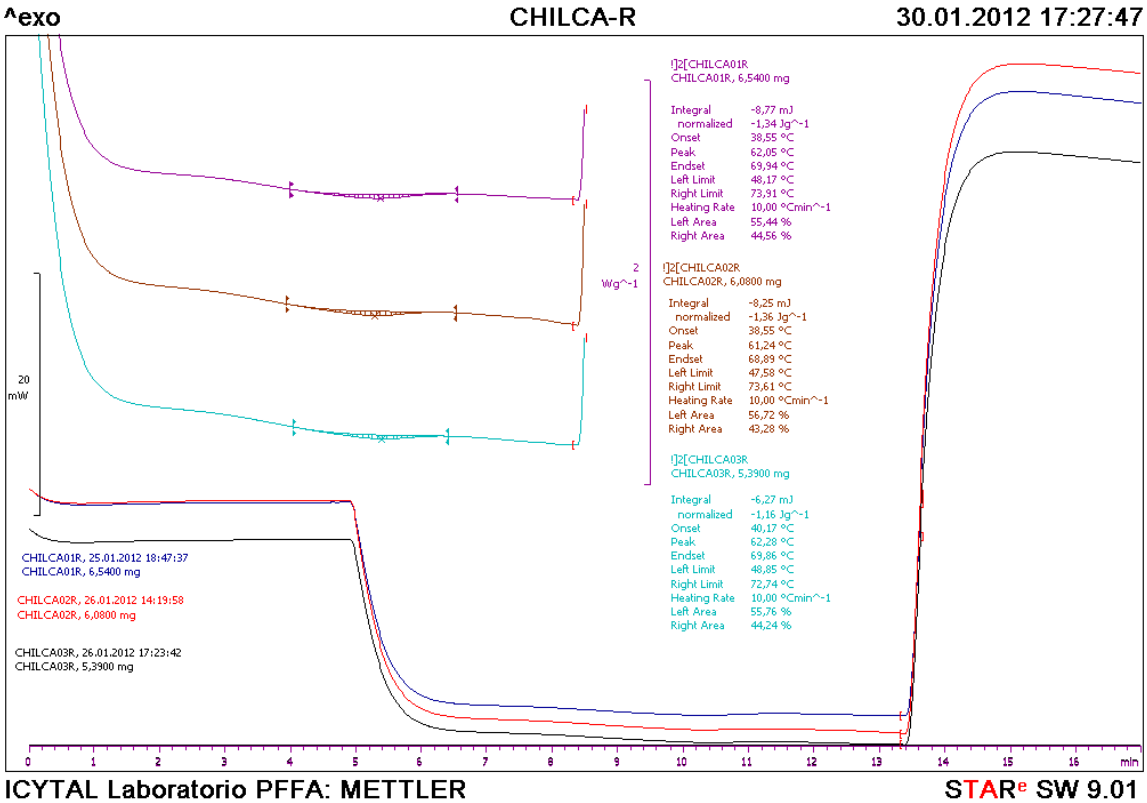





^exo
93COCH-G
27.01.2012 19:41:34
!]2[93COCH01
93COCH01, 5,8300 mg
Integral -81,65 mJ
normalized -14,01 Jg^-1
Onset 58,87 °C
Peak 63,80 °C
Endset 70,51 °C
Left Limit 48,40 °C
Right Limit 83,08 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 43,52 %
Right Area 56,48 %
!]2[93COCH02
93COCH02, 6,2800 mg
Integral -84,56 mJ
normalized -13,46 Jg^-1
Onset 60,34 °C
Peak 64,86 °C
Endset 72,21 °C
Left Limit 48,01 °C
Right Limit 82,83 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 39,67 %
Right Area 60,33 %
!]2[93COCH03
93COCH03, 5,7400 mg
Integral -88,11 mJ
normalized -15,35 Jg^-1
Onset 59,96 °C
Peak 63,82 °C
Endset 70,72 °C
Left Limit 46,92 °C
Right Limit 81,58 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 38,81 %
Right Area 61,19 %
2
Wg^-1
20
mW
93COCH01, 17.01.2012 19:10:19
93COCH01, 5,8300 mg
93COCH02, 18.01.2012 15:18:18
93COCH02, 6,2800 mg
93COCH03, 18.01.2012 18:14:54
93COCH03, 5,7400 mg
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 min
ICYTAL Laboratorio PFFA: METTLER
STARe SW 9.01


^exo
93COCH-R
30.01.2012 16:59:55
!]2[93COCH01R
93COCH01R, 5,8300 mg
Integral -5,85 mJ
normalized -1,00 Jg^-1
Onset 40,25 °C
Peak 60,18 °C
Endset 67,23 °C
Left Limit 47,84 °C
Right Limit 69,46 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 54,46 %
Right Area 45,54 %
!]2[93COCH02R
93COCH02R, 6,2800 mg
Integral -6,17 mJ
normalized -0,98 Jg^-1
Onset 43,66 °C
Peak 60,14 °C
Endset 67,17 °C
Left Limit 46,59 °C
Right Limit 68,51 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 58,50 %
Right Area 41,50 %
!]2[93COCH03R
93COCH03R, 5,1900 mg
Integral -5,57 mJ
normalized -1,07 Jg^-1
Onset 43,24 °C
Peak 60,31 °C
Endset 67,54 °C
Left Limit 46,29 °C
Right Limit 68,81 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 57,09 %
Right Area 42,91 %
2
Wg^-1
20
mW
93COCH01R, 25.01.2012 14:39:00
93COCH01R, 5,8300 mg
93COCH02R, 26.01.2012 13:35:17
93COCH02R, 6,2800 mg
93COCH03R, 26.01.2012 16:39:27
93COCH03R, 5,1900 mg
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 min
ICYTAL Laboratorio PFFA: METTLER
STARe SW 9.01


^exo
CHILCA-G
27.01.2012 20:12:57
!]2[CHILCA01
CHILCA01, 6,5400 mg
Integral -101,53 mJ
normalized -15,52 Jg^-1
Onset 62,78 °C
Peak 66,54 °C
Endset 73,36 °C
Left Limit 48,51 °C
Right Limit 87,74 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 37,66 %
Right Area 62,34 %
!]2[CHILCA02
CHILCA02, 6,0800 mg
Integral -93,02 mJ
normalized -15,30 Jg^-1
Onset 62,58 °C
Peak 66,10 °C
Endset 73,13 °C
Left Limit 47,64 °C
Right Limit 87,78 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 34,69 %
Right Area 65,31 %
!]2[CHILCA03
CHILCA03, 5,3900 mg
Integral -84,78 mJ
normalized -15,73 Jg^-1
Onset 62,46 °C
Peak 66,75 °C
Endset 73,81 °C
Left Limit 46,84 °C
Right Limit 87,43 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 39,70 %
Right Area 60,30 %
2
Wg^-1
20
mW
CHILCA01, 18.01.2012 12:59:35
CHILCA01, 6,5400 mg
CHILCA02, 18.01.2012 16:03:23
CHILCA02, 6,0800 mg
CHILCA03, 18.01.2012 19:00:37
CHILCA03, 5,3900 mg
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 min
ICYTAL Laboratorio PFFA: METTLER
STARe SW 9.01


^exo
CHILCA-R
30.01.2012 17:27:47
!]2[CHILCA01R
CHILCA01R, 6,5400 mg
Integral -8,77 mJ
normalized -1,34 Jg^-1
Onset 38,55 °C
Peak 62,05 °C
Endset 69,94 °C
Left Limit 48,17 °C
Right Limit 73,91 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 55,44 %
Right Area 44,56 %
!]2[CHILCA02R
CHILCA02R, 6,0800 mg
Integral -8,25 mJ
normalized -1,36 Jg^-1
Onset 38,55 °C
Peak 61,24 °C
Endset 68,89 °C
Left Limit 47,58 °C
Right Limit 73,61 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 56,72 %
Right Area 43,28 %
!]2[CHILCA03R
CHILCA03R, 5,3900 mg
Integral -6,27 mJ
normalized -1,16 Jg^-1
Onset 40,17 °C
Peak 62,28 °C
Endset 69,86 °C
Left Limit 48,85 °C
Right Limit 72,74 °C
Heating Rate 10,00 °Cmin^-1
Left Area 55,76 %
Right Area 44,24 %
2
Wg^-1
20
mW
CHILCA01R, 25.01.2012 18:47:37
CHILCA01R, 6,5400 mg
CHILCA02R, 26.01.2012 14:19:58
CHILCA02R, 6,0800 mg
CHILCA03R, 26.01.2012 17:23:42
CHILCA03R, 5,3900 mg
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 min
ICYTAL Laboratorio PFFA: METTLER
STARe SW 9.01