



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias Agrarias  
Escuela de Ingeniería en Alimentos

## **Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé**

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

**Macarena del Pilar Robles Oñate**

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. 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



---

Sra. Marcia Costa Lobo

Ingeniero Civil Bioquímico  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos  
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile



**INDICE DE MATERIAS**

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	MATERIAL Y MÉTODO	8
2.1	Materia prima	8
2.2	Metodología	8
2.2.1	Tamaño gránulos de almidón	9
2.2.2	Relación amilosa/amilopectina	9
2.2.3	Poder de hinchamiento	9
2.2.4	Calorimetría diferencial de barrido	10
2.2.5	Análisis estadístico de los datos experimentales	11
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	12
3.1	Propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación	12
3.1.1	Gelatinización	12
3.1.2	Retrogradación	13
3.2	Tamaño de los gránulos	15
3.3	Relación amilosa/amilopectina	19
3.4	Poder de hinchamiento	22
4	CONCLUSIONES	27
5	BIBLIOGRAFÍA	28



**INDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Relación amilosa/amilopectina	5
2	Muestras de papas nativas de Chiloé	8
3	Propiedades térmicas de gelatinización	12
4	Propiedades térmicas de retrogradación	14
5	Propiedades morfológicas de las variedades de almidón estudiadas	16
6	Resultados relación amilosa/amilopectina	19
7	Resultados poder de hinchamiento	23

**INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Gránulos de almidón de papas nativas de Chiloé observado con microscopio de luz polarizada (x20)	4
2	Micrografías de almidón de papas nativas de Chiloé para la muestra NG-65	15
3	Relación del tamaño de gránulo con las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papas nativas de Chiloé	18
4	Relación del contenido de amilosa relativa con las temperaturas gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papas nativas de Chiloé	21
5	Relación poder de hinchamiento con temperaturas de gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papas nativas de Chiloé	25

**INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo</b>		<b>Página</b>
1	Curva de calibración	35
2	Curvas de gelatinización y retrogradación de la muestra NG-65	36
3	Micrografías de los gránulos de almidón	37

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue relacionar las propiedades fisicoquímicas con las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación para cinco variedades de papa nativa de Chiloé. Las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación fueron evaluadas, a través, de la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), ampliamente usada para medir estos parámetros. Para relacionar estas propiedades primero se evaluó el tamaño de los gránulos de almidón usando un microscopio de luz polarizada, éstos tuvieron un rango entre 7,29 y 74,7  $\mu\text{m}$  donde los resultados obtenidos evidenciaron una relación con sus propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación. La relación amilosa/amilopectina fue determinada por espectrofotometría, a valores de absorbancia bajos denotaron bajos valores de amilosa relativa dando resultados de la relación amilosa/amilopectina entre 0,05 y 0,28 dependiendo de la variedad de almidón de papa nativa de Chiloé. El contenido de amilosa relativa está directamente relacionado con el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón, para ello se determinó ésta última propiedad, donde a menor poder de hinchamiento mayor es el contenido de amilosa relativa, lo que generó que los gránulos con menor poder de hinchamiento gelatinicen primero. El poder de hinchamiento para las cinco variedades de almidón de papa nativa está dado entre 8,28 y 11,32 de expansión de éste; el valor máximo de 11,32 de hinchamiento se dio en la muestra 355CON1148 mostrando la mayor temperatura de gelatinización de 66,52 °C y el menor contenido de amilosa relativa de 3,35%.

No se observó relación de las temperaturas de retrogradación con el contenido de amilosa y poder de hinchamiento para las cinco variedades de almidón papas nativas de Chiloé.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se puede apreciar el rol que cumplen las propiedades fisicoquímicas y térmicas en el almidón, lo que define su aplicación a nivel de la industria alimentaria.

## SUMMARY

The aims of this study consisted in finding out some correlations between the physico-chemical properties and the thermal behaviour of gelatinisation and retrogradation of starch of five traditional varieties of native potato of Chiloé. Enthalpy and temperature of gelatinisation and retrogradation was obtained through differential scanning calorimetry (DSC), a widely used method to evaluate thermal behaviour. The size of the starch granules was first determined using a polarised light microscope and was found to lie between 7.0 and 74.7  $\mu\text{m}$  and showed to have a good correlation with the thermal behaviour of gelatinisation and retrogradation. The ratio amylose amylopectin was obtained by spectrophotometry; at low values of absorbance low values of relative amylose content were found, and the ratio amylose amylopectin were determined between 0.05 and 0.28, and depended on the variety of the native potato from Chiloé. It was found that the relative amylose content may be correlated directly to the swelling power of the starch granules, so that at low swelling power higher relative amylose content was obtained, which means that the starch granules would gelatinise at low temperatures. The swelling power of the starch of the five varieties of native potatoes lied between 8.28 and 11.32% of total granule expansion. The maximum value of 11.32% was obtained for the potato variety 355CON1148, which had a gelatinisation temperature of 66.52 °C and the lowest amylose content of 3.35%. However, the retrogradation temperature could not be correlated to amylose content or to swelling power for any of the starches of the five varieties of native potato of Chiloé.

The results obtained in this study clearly showed the importance of the physico-chemical and thermal properties of starch, and their role for any application in the food industry.

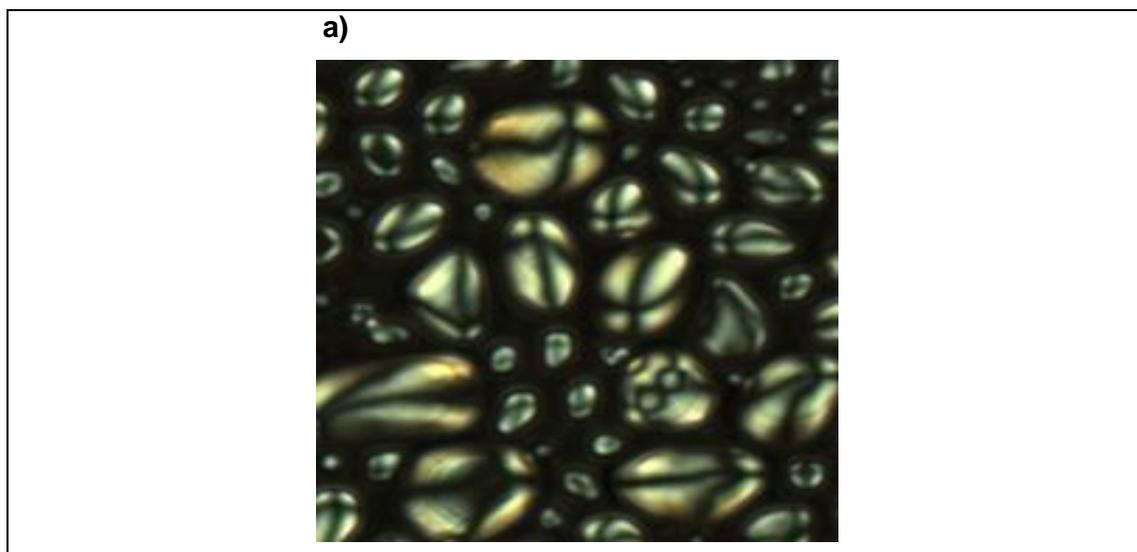
## 1 INTRODUCCION

El almidón es un ingrediente alimentario versátil, ampliamente utilizado en la industria para modificar textura y consistencia de alimentos (LESCANO, 2010), es uno de los mayores componentes de las raíces y tubérculos, de donde se puede aislar. Tanto los almidones nativos como los modificados (almidones nativos que se han sometido a algún tratamiento para cambiar sus propiedades fisicoquímicas) tienen un número enorme de aplicaciones como estabilizantes, agente de relleno, adhesivo, ligante, humectantes, entre otros. Algunos de sus usos son en sopas, postres instantáneos y helados (ARAUJO *et al.*, 2004).

El almidón está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura molecular son características de cada especie. Los almidones de tubérculos son generalmente voluminosos y helicoidales con hilio excéntrico, otros son esféricos o semiesféricos truncados o poliédricos como los de sorgo, avena y tapioca, o polimórficos como los de los cereales. El tamaño de los gránulos de almidón de papa va de 1 a 100  $\mu\text{m}$ , tienen formas redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal (OJEDA, 2008).

Por su parte, KAUR *et al.* (2009) mencionan que una de las técnicas ópticas más usadas para caracterizarlos es el microscopio óptico de luz polarizada, que da una imagen virtual amplificada de un objeto pequeño, permitiendo observar especímenes sin necesidad de tinción de apariencia esferocristales. La microscopía de luz clara muestra el tamaño y formas de los gránulos de almidón, y con luz polarizada se observa el orden dentro de su estructura, observando una cruz de malta en la molécula de almidón, o también llamado birrefringencia, que corresponde a la luz que se refracta en dos direcciones. Según ALEMAN (2012) los gránulos de almidones que presentan la cruz de malta, se tratan de gránulos intactos, que mantuvieron la estructura granular. Mientras que las estructuras que no presentan esta característica, se tratan de gránulos rotos o dañados, debido al daño mecánico durante la molienda. Esto es

evidente por la birrefringencia observada como la cruz de malta en la parte media de los gránulos de almidón como se observa en la FIGURA 1.



**FIGURA 1.** Gránulos de almidón de papa nativa de Chiloé observado con microscopio de luz polarizada (20x)

Según MEDINA (2007) el tamaño del gránulo es correlacionado con algunas de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, como temperatura de gelatinización, características de la pasta, cristalinidad, solubilidad e hinchamiento.

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos de glucosa químicamente distinguibles, la amilosa (que es de carácter lineal) y la amilopectina (altamente ramificada y de mayor peso molecular). Todos los almidones están constituidos de una o ambas de estas moléculas. Sin embargo, la relación entre ellas varía entre un 20 a 30% de amilosa y entre un 70 a 80% de amilopectina como se muestra en el CUADRO 1. La amilopectina es el componente más abundante en el almidón, este polímero es el responsable de que el gránulo presente una estructura organizada en forma de anillos y cierta propiedad cristalina y otra amorfa, que dan al gránulo su característica de birrefringencia. CHENG (1996) señala que los almidones de diversas fuentes contienen diferentes cantidades de amilosa y amilopectina que influyen en sus propiedades, tales como gelatinización, retrogradación, absorción, y la viscosidad de la pasta.

**CUADRO 1. Relación amilosa /amilopectina**

<b>Muestras</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>
Maíz	25%	75%
Papa	20%	80%
Trigo	25%	75%

FUENTE: MÉNDEZ (2009)

SAIBENE y SEETHARAMAN (2010) señalan que factores como el tamaño del gránulo y contenido amilosa/amilopectina pueden influenciar el poder de hinchamiento del gránulo de almidón. El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de éstas, éste parámetro permite observar el incremento del tamaño de gránulo por efecto de la expansión relacionándose con la capacidad de absorción de agua de cada gránulo. Cuando los gránulos de almidón nativo son calentados progresivamente en agua, alcanza un punto donde comienza a hincharse irreversiblemente desde 30 a 50% del volumen y un incremento del diámetro del gránulo entre 9,1 % para el almidón de papa y 22,7 % para el maíz. Según IQBAL y MIDO (2005) el hinchamiento de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de los gránulos. Sin embargo, los cambios que ocurren en los gránulos durante el proceso es el resultado no sólo del hinchamiento, sino también de la hidrólisis del almidón en dextrina y maltosa.

Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua sufren el proceso llamado gelatinización, el cual es, la disrupción del orden molecular dentro del gránulo, es decir, es un proceso de formación de una pasta, que comienza de modo gradual y se hace efectivo cuando alcanza una cierta temperatura (RIVAS, 2009). Debido a la fuerza de los enlaces de hidrógeno de las cadenas de las moléculas constituyentes de los gránulos de almidón, estos son insolubles en agua fría, pero a medida que la temperatura se eleva, alcanzando la temperatura de gelatinización, los gránulos comienzan a absorber el agua, ocurriendo el rompimiento de éstos enlaces. La

temperatura inicial de gelatinización es característica de cada almidón, pero usualmente se encuentra en un rango de 55 a 75°C (COULTATE, 2009). El rango de gelatinización se refiere al rango de temperatura en la que todos los gránulos están completamente hinchados, pero este rango difiere para los diferentes almidones (PARKER, 2001). Las moléculas de almidón, que tras la gelatinización se presentan en forma amorfa, se van reasociando gradualmente formando cristales que están compuestos por las dobles hélices del almidón (COULTATE, 2009).

SINNOT (2007), el fenómeno de recristalización de las moléculas de amilopectina desenrollada se conoce como retrogradación. 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. La retrogradación es un fenómeno complejo que va a influir en la textura, aceptabilidad y digestibilidad, de los alimentos en los cuales se genere (TAKAHIRO *et al.*, 2005). Según RIVAS (2009), 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.

Las propiedades térmicas de gelatinización y de retrogradación según BELITZ *et al.*, (2009) también han sido evaluadas por Calorimetría Diferencial de Barrido (Differential scanning calorimetry, DSC), midiéndose la energía absorbida o liberada por una muestra cuando ocurre una transición de fase.

Por lo descrito anteriormente, es importante evaluar y relacionar las características fisicoquímicas y térmicas del almidón proveniente de distintas variedades de almidón de papa nativa de Chiloé, dándole un valor agregado al empleo del almidón como ingrediente de los alimentos, como en el control de la textura de los sistemas alimentarios y en el uso de la fabricación de numerosos alimentos, sin necesidad de acudir a almidones modificados.

**Hipótesis**

Los atributos térmicos y funcionales del almidón de papa nativa de Chiloé son función del tamaño del gránulo de almidón y del contenido de amilosa.

**Objetivo general**

Determinar las propiedades fisicoquímicas de cinco variedades de almidón de papa nativa de Chiloé, y relacionarlas con sus propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación. Las propiedades fisicoquímicas a evaluar son tamaño del gránulo, relación amilosa/amilopectina y poder de hinchamiento.

**Objetivos específicos**

- Determinar el tamaño de los gránulos de almidón de las cinco variedades de almidón papa nativa de Chiloé, usando microscopia de luz polarizada.
- Determinar la relación amilosa/amilopectina de las cinco variedades de almidón.
- Determinar el poder de hinchamiento del gránulo de almidón de cada variedad de papa nativa de Chiloé.
- Relacionar éstas características fisicoquímicas con la información disponible de las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación para dichas variedades de papas nativa de Chiloé.

## 2 MATERIAL Y METODO

El desarrollo de la parte experimental se realizó en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

### 2.1 Materia prima

Las fuentes de almidón corresponden a 5 variedades de papas nativas de Chiloé, obtenidas de la Estación Experimental Agropecuaria Austral (EEAA) de la Universidad Austral de Chile, donde se obtuvo aproximadamente un rango entre 150 – 300 g de almidón por 1 Kg de cada variedad. Las cinco variedades de almidón seleccionadas se muestran en el CUADRO 2.

**CUADRO 2. Muestras de papas nativas de Chiloé**

<b>Variedades tradicionales de papas nativas de Chiloé</b>
181UA1022
355CON1148
CHILCA
NG-65
NG-89

### 2.2 Metodología

Se relacionan las propiedades físicas (morfología y el tamaño de los gránulos de almidón), y propiedades químicas del almidón (relación amilosa/amilopectina y poder de hinchamiento) con las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación a través de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). El tamaño de los gránulos de almidón se determinó a partir del método de MEDINA (2007). La relación de amilosa/amilopectina se determinó por espectrofotometría según la metodología

obtenida en ISO (1987). Para el poder de hinchamiento se utilizó la metodología de ANDERSON *et al.*, (1969).

**2.2.1. Tamaño gránulos de almidón.** El tamaño de los gránulos de almidón se determinó con microscopio de luz polarizada (modelo U-TVOSX C3 Olympus, Japón). Para la caracterización micrográfica se tomó una pequeña cantidad de muestra de almidón ( $2 \pm 0,05$  g) espolvoreando en un porta-objeto con una gota de agua destilada. La muestra fue observada en un microscopio con un objetivo de 20x y se obtuvieron fotografías digitales con la cámara QIMAGING QICAM FAST 1393 con formato JPG. Posteriormente, las mediciones de los tamaños (los tamaños corresponden a la más larga distancia entre fronteras del gránulo) y las características morfológicas de los gránulos se obtuvieron mediante el software Linkys 32.

**2.2.2. Relación amilosa/amilopectina.** Se pesaron 100 mg de muestra en un frasco volumétrico de 100 mL. Se agregaron al frasco 1 mL de etanol al 95 % v/v y 9 mL de hidróxido de sodio 1N. Se dejaron a 20 °C entre 18 a 24 horas, posteriormente se aforó en matraz a 100 mL con agua destilada. En otro frasco volumétrico de 100 mL conteniendo 50 mL de agua destilada se agregó una alícuota de 5 mL de la preparación inicial, 1 mL de ácido acético 1 N y 2 mL de solución de yodo al 2 %, se mezcló y completó a volumen con agua destilada. Al finalizar, se almacenaron los frascos bajo oscuridad durante 20 minutos para leer la densidad óptica en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm. Se utilizó la curva de calibración descrita por HOOVER Y RATNAYAKE (2001), que se encuentra en el ANEXO 1 para determinar la ecuación de regresión y esta ecuación para calcular el contenido de amilosa de cada muestra.

Donde  $x$  = % de amilosa e  $y$  = absorbancia a 620 nm.

$$y = 0,0168x + 0,2138 \quad R^2 = 0,9998 \quad (01)$$

$$\%amilosa = \frac{Absorbancia - 0,2138}{0,0168} \quad (02)$$

El contenido de amilopectina se obtiene a partir de la diferencia con el contenido de amilosa del contenido de almidón, lo que va a permitir la obtención de la relación amilosa/amilopectina, a partir de la división de ambos contenidos.

**2.2.3. Poder de hinchamiento.** Se pesaron 1,25 g de almidón, se agregó 30 mL de agua destilada a 70 °C y se agitó manualmente (sin exceder). En seguida, se colocaron los tubos en baño de agua a 70 °C durante 30 minutos; se agitó la suspensión manualmente a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Posteriormente se centrifugó a temperatura ambiente a 4900 RPM (modelo PLC-025 GERRYCO) durante 30 minutos. Se dejó decantar el sobrenadante para medir el volumen. Se tomó 10 mL del sobrenadante (capa superior) y se colocó en un vaso precipitado de 50 mL (previamente pesado). Se secó el sobrenadante en una estufa durante 12 horas a 70 °C para posteriormente pesar el tubo de centrifuga con el gel y pesar el vaso precipitado con los solubles.

Los pesos obtenidos se utilizaron para calcular el poder de hinchamiento (PH) según la ecuación 03

Donde PH es el poder de hinchamiento,  $P_g$  peso del gel,  $P_m$  peso muestra y  $P_s$  peso solubles.

$$PH = \frac{P_g}{P_m - P_s} \quad (03)$$

**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  $\mu$ L 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 °C a una velocidad de 10 °C/min y enfriadas a la misma velocidad hasta 25 °C. Durante siete días, los crisoles con las muestras analizadas 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:

- $T_o$  (°C): Temperatura inicial.
- $T_p$  (°C): Temperatura peak.
- $T_e$  (°C): Temperatura final.

- $\Delta H_{gel}$ : Entalpía de gelatinización.
- $\Delta H_{ret}$ : Entalpía de retrogradación.

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

$$\% R = \left( \frac{\Delta H_{Ret}}{\Delta H_{Gel}} \right) \cdot 100 \quad (05)$$

**2.2.5 Análisis estadístico de los datos experimentales.** Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existen diferencias significativas en los tratamientos evaluados. Además, se utiliza un análisis de rangos múltiple, correspondiente al procedimiento de la diferencia significativa de Tukey (HSD Tukey), con un nivel de confianza de 95%. Se usó el software Statgraphics Plus v 5.1 para el manejo de los datos y los análisis estadísticos.

### 3 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

#### 3.1 Propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación

Las propiedades térmicas de gelatinización y de retrogradación para las cinco variedades de almidón de papa nativa de Chiloé, 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. En el ANEXO 2 se muestra un ejemplo de curva de gelatinización y retrogradación para una muestra evaluada por la técnica de calorimetría diferencial de barrido.

**3.1.1 Gelatinización** En el CUADRO 3 se observan las propiedades térmicas de gelatinización correspondientes a temperatura inicial (To), peak (Tp) y final (Te), como también la entalpía ( $\Delta H_{gel}$ ) para las distintas muestras de almidón analizadas.

**CUADRO 3. Propiedades térmicas de gelatinización**

Variedad	To (°C)*	Tp (°C)*	Te (°C)*	$\Delta H_{gel}$ (J/g)*
181 UA 1022	60,32 ± 0,42 <sup>b</sup>	63,90 ± 0,26 <sup>b</sup>	70,71 ± 0,11 <sup>b</sup>	15,56 ± 1,08 <sup>b</sup>
355 CON 1148	62,74 ± 0,91 <sup>a</sup>	66,52 ± 1,11 <sup>a</sup>	74,17 ± 1,28 <sup>a</sup>	15,50 ± 0,29 <sup>b</sup>
CHILCA	62,61 ± 0,16 <sup>a</sup>	66,46 ± 0,33 <sup>a</sup>	73,43 ± 0,35 <sup>a</sup>	15,52 ± 0,22 <sup>b</sup>
NG 65	59,89 ± 0,13 <sup>b</sup>	63,94 ± 0,11 <sup>b</sup>	70,54 ± 0,14 <sup>b</sup>	14,50 ± 0,09 <sup>a</sup>
NG 89	62,12 ± 0,60 <sup>a</sup>	66,50 ± 0,57 <sup>a</sup>	70,34 ± 0,52 <sup>a</sup>	14,58 ± 0,14 <sup>a</sup>

FUENTE: ESPINOZA, (2012).

\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones

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

Las propiedades térmicas de gelatinización, evaluadas a través del método de DSC, mostraron una diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre las distintas variedades de almidón para  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_e$  y  $\Delta H_{gel}$ . 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), quien realizó un estudio de las propiedades del almidón de variedades de papas almacenadas en distintas condiciones ambientales, señaló que estos almidones mostraron diferencias significativas en las temperaturas de transición.

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. 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.

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.

**3.1.2 Retrogradación** Las propiedades térmicas de retrogradación tales como la temperatura inicial ( $T_o$ ), peak ( $T_p$ ) y final ( $T_e$ ) y la entalpía ( $\Delta H_{ret}$ ) son mostradas en el CUADRO 4, 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  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_e$  y  $\Delta H_{gel}$ , presentaron diferencias significativas entre las distintas variedades ( $p \leq 0,05$ ).

#### CUADRO 4. Propiedades térmicas de retrogradación

Variedad	$T_o$ (°C)*	$T_p$ (°C)*	$T_e$ (°C)*	$\Delta H_{ret}$ (J/g)*	(%R)**
181 UA 1022	38,75 ± 2,78 <sup>ab</sup>	60,26 ± 0,47 <sup>b</sup>	66,38 ± 0,27 <sup>b</sup>	0,62 ± 0,11 <sup>c</sup>	3,98 ± 0,45
355 CON 1148	37,53 ± 1,92 <sup>b</sup>	61,32 ± 0,50 <sup>ab</sup>	67,98 ± 0,91 <sup>ab</sup>	0,64 ± 0,15 <sup>c</sup>	4,13 ± 1,01
CHILCA	39,09 ± 0,94 <sup>ab</sup>	61,86 ± 0,55 <sup>a</sup>	69,56 ± 0,58 <sup>a</sup>	1,29 ± 0,11 <sup>b</sup>	8,31 ± 0,81
NG 65	42,65 ± 0,65 <sup>a</sup>	59,18 ± 0,36 <sup>b</sup>	67,84 ± 0,62 <sup>ab</sup>	2,69 ± 0,11 <sup>a</sup>	18,55 ± 0,76
NG 89	40,36 ± 2,82 <sup>ab</sup>	60,88 ± 0,35 <sup>b</sup>	66,05 ± 1,68 <sup>b</sup>	0,65 ± 0,38 <sup>c</sup>	4,46 ± 1,63

FUENTE: ESPINOZA, (2012).

\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones

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

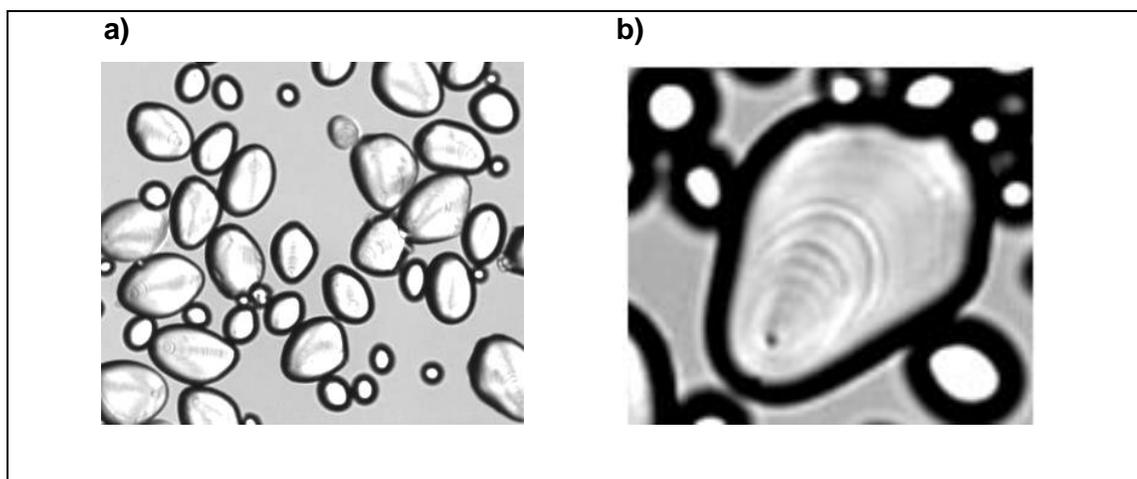
Según WISCHMANN *et al.*, (2005), el almidón gelatinizado tiende a reasociarse al enfriar formando una estructura cristalina, proceso conocido como retrogradación. Así mismo Miles *et al.*, (1985), citado por SANDHU *et al.*, (2010) señalan que la firmeza del gel es causada principalmente por la retrogradación 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.

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 LIU (2010) para  $T_o$  y  $T_p$  fueron muy similares, con valores para  $T_o$  que van de 38,5 a 47,7 °C y 62,6 a 65,3 °C para  $T_p$ , en tanto CHIOTELLI y MESTRE, (2003)

también obtuvieron valores muy similares en  $T_o$  (40 a 42,6 °C). Por otra parte LIU *et al.*, (2011) presentó valores similares también en  $T_o$  (36,4 a 41 °C), a diferencia de los resultados obtenidos para  $T_p$  que fueron algo más bajos, entre 51,1 a 54 °C

### 3.2 Tamaño de los gránulos

Según STAWSKI (2008), las diferencias en tamaño entre almidones de papa son mayores entre cultivos de cualquier otra fuente botánica, dependiendo de las prácticas agrícolas. Son evidentes las diferencias en las formas y apariencias de los gránulos al ser observados en el microscopio de luz polarizada reconociéndose por su forma, tamaño, posición del hilio, punto original a partir del cual ocurre el crecimiento del gránulo y temperatura de gelatinización (PRIETO *et al.*, 2009). En la FIGURA 2 se observan micrografías obtenidas para el gránulo de papa nativa con formas circulares para los tamaños pequeños y elípticos para los tamaños grandes. Para los gránulos más grandes los anillos de crecimiento alrededor del hilum son particularmente notables en comparación a los gránulos pequeños, lo que confiere un aspecto de concha de ostra.



**FIGURA 2.** Micrografías de almidón de papa nativa de Chiloé para la muestra NG-65, a) Gránulos de almidón de papa; b) Anillos de crecimientos gránulos grandes

Se observó que el almidón de papa muestra una distribución normal de tamaño, este rango de distribución va de 7,29 a 76,2  $\mu\text{m}$ , lo que significa que dichos almidones poseen gránulos pequeños, medianos y grandes. TAKAHIRO *et al.* (2005) señalan que los almidones de trigo y maíz especialmente, tienen una biomodelo de distribución de

tipo A (gránulos grandes) y tipo C (gránulos pequeños). En cambio el almidón de papa muestra una distribución de tipo A (gránulos grandes), B (gránulos medianos) y C (gránulos pequeños). Según PRIETO *et al.*, (2009), el tamaño de partículas incluyendo la distribución de tamaños, es una de las características que más afectan a las propiedades funcionales de los gránulos de almidón.

En el CUADRO 5 se muestran las propiedades morfológicas observadas en cinco variedades de almidón de papa nativa donde se clasificaron en tres rangos según tamaño, los gránulos pequeños van de 2,0 a 27  $\mu\text{m}$ , medianos 27 a 52  $\mu\text{m}$  y grandes >52  $\mu\text{m}$ . Es importante destacar que el rango que es considerado gránulo pequeño en el almidón de papa cubre la mayor parte del rango grande de los tamaños de otras fuentes; por ejemplo, en el almidón de maíz el tamaño máximo es de 26  $\mu\text{m}$  aproximadamente, y en el almidón de yuca el tamaño máximo es de 23  $\mu\text{m}$ , aproximadamente. Como se observa en el ANEXO 3.

**CUADRO 5. Propiedades morfológicas de las variedades de almidón estudiadas**

Variedades	Pequeños 2 a 27 $\mu\text{m}$	Medianos 27 a 52 $\mu\text{m}$	Grandes >52 $\mu\text{m}$	Tamaño mínimo	Tamaño máximo	Tamaño* promedio
	%	%	%	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
181UA1022	30,22	51,16	18,61	11,78	75,1	36,82 $\pm$ 2,98 <sup>b</sup>
355CON118	22,21	48,97	28,91	16,84	72,4	44,53 $\pm$ 7,75 <sup>ab</sup>
CHILCA	22,32	69,41	8,31	8,91	76,2	56,66 $\pm$ 4,45 <sup>a</sup>
NG-65	19,21	78,20	2,61	7,29	71,2	28,72 $\pm$ 3,26 <sup>c</sup>
NG-89	36,25	61,25	2,5	10,14	73,5	39,65 $\pm$ 3,22 <sup>ab</sup>

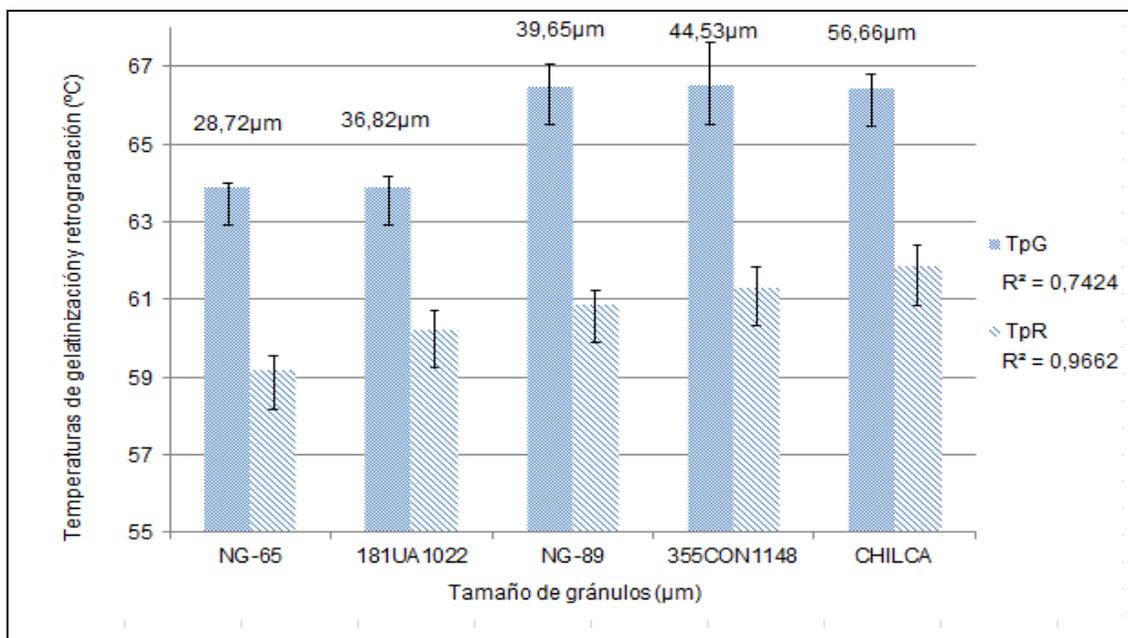
\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones

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

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para el tamaño promedio, encontrándose que existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de tamaño promedio con un nivel del 95,0% de confianza. Hay evidencia estadística para afirmar que existe diferencia estadística entre la muestra CHILCA, 355CON1148 y NG-89, lo que corresponde a las variedades de papa con tamaño de gránulos más grandes. Seguidas por las muestras 181UA1022 y NG-65 que corresponden a las muestras con menor tamaño de gránulos. Para todas las muestras los porcentajes indican que la tendencia en el tamaño de los gránulos se encuentra en un rango medio siguiendo una distribución normal.

En la FIGURA 3 se agruparon los tamaños promedios en dos grupos, gránulos grandes (355CON1148, CHILCA y NG-89) y gránulos pequeños (181UA1022 y NG-65) según la temperatura de gelatinización que le corresponde a cada variedad, donde se puede apreciar que las últimas muestras que corresponden NG-89, 355CON1148 y CHILCA, son las que muestran tamaño de gránulos mayores de 39,65, 44,53 y 56,66  $\mu\text{m}$  respectivamente, lo que serían el último grupo que van a gelatinizar. Debido a que, las temperaturas de gelatinización para éstas muestras se inician en 62,74; 62,61 y 62,12  $^{\circ}\text{C}$ , valores superiores al inicio de gelatinización que corresponde a los 59 $^{\circ}\text{C}$  alcanzando temperaturas de 67,98; 69,56 y 66,05  $^{\circ}\text{C}$  respectivamente, por lo cual, las dos primeras muestras 181UA1022 y NG-65 serían aquellas que van a gelatinizar primero a menores temperaturas en relación a las otras muestras, debido a que se sitúan en el rango de gránulos pequeños.

Los valores de cambio de entalpía ( $\Delta H$ ) obtenidos para almidón de papa, se presentaron en un rango de 14,50 a 15,56 J/g estos valores están de acuerdo a lo reportado por KAUR *et al.*, (2009) para almidón de papa. Estadísticamente existió diferencia significativa entre ellos, esto indica que todos los almidones requieren de energías diferentes para gelatinizar.



**FIGURA 3. Relación del tamaño de gránulo con las propiedades térmicas de gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papa nativa de Chiloé.**

En la FIGURA 3 se observó relación del tamaño del gránulo con las temperaturas de retrogradación (TpR) mostrando una tendencia y un incremento en las temperaturas peak entre las cinco muestras, Donde al incrementar TpG, incrementa TpR, indicando que los gránulos de almidón de papa nativa de mayor longitud (se consideran NG-89, 355CON1148 y CHILCA) retrogradan últimos en relación a las muestras NG-65 y 181UA1022. Las temperaturas peak para las cinco variedades de papa están en un rango de 59,18 a 61,86 °C, donde, la muestra de menor tamaño retrograda en un rango de temperaturas de 42,65 °C a 67,84 °C con tamaño del gránulo de 28,72 µm y la muestra de mayor tamaño retrograda en un rango de temperaturas de 39,09 °C a 69,56 °C.

Los gránulos más grandes están directamente relacionados con el hinchamiento del gránulo de almidón como se observa en el CUADRO 7, debido a que, según MEDINA (2007) los gránulos más grandes son más cristalinos de forma que son lo suficientemente fuertes para presentar un alto hinchamiento.

### 3.3 Relación amilosa/amilopectina

El contenido de amilosa relativa fue analizado mediante espectrofotometría. Según TAKAHIRO (2005) la base para calcular la proporción del contenido de amilosa se basa en la formación del complejo amilosa-yodo dando lugar a un profundo color azul de las dispersiones de almidón teñido. El método para la determinación de amilosa establecido por HOOVER Y RATNAYAKE (2001), nos permitió la obtención de porcentajes aproximados de la relación amilosa/amilopectina en las distintas variedades. Los valores de absorbancia del CUADRO 6, presentan una relación directamente proporcional al porcentaje de amilosa relativa, un incremento en los valores de absorbancia refleja un aumento en el porcentaje de amilosa relativa y se obtienen valores altos en la relación amilosa/amilopectina.

**CUADRO 6. Resultados relación amilosa/amilopectina**

Muestras	Absorbancia	Contenido amilosa relativa (%)	Contenido de amilopectina (%)	Relación amilosa/amilopectina
181UA1022	0,59 ± 0,08	22,39 <sup>a</sup>	77,61	0,28 ± 0,02
355CON1148	0,27 ± 0,06	3,35 <sup>c</sup>	96,65	0,03 ± 0,01
CHILCA	0,49 ± 0,03	16,44 <sup>b</sup>	83,56	0,20 ± 0,01
NG 65	0,56 ± 0,04	20,61 <sup>ab</sup>	79,39	0,26 ± 0,02
NG 89	0,3 ± 0,05	5,20 <sup>c</sup>	94,87	0,05 ± 0,03

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

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

De acuerdo al contenido de amilosa relativa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos que son los almidones cerosos que contienen muy poca cantidad de amilosa, alrededor del 1%, los normales contienen entre 15 – 30% de amilosa y los altos en amilosa contienen 50% o más de este polímero (CHEFTEL,1976). Las muestras 181UA1022, CHILCA y NG-65 presentaron los valores más altos de absorbancia, por lo cual el porcentaje de amilosa está dado entre el 15 – 30%, la diferencia 70 – 85% corresponde a amilopectina, clasificándolas como almidones

normales. Los valores del porcentaje de amilosa para las muestras 355UA1022 y NG-89 está dado entre 3 - 6% lo cual son clasificados como almidones con bajo contenido de amilosa, el porcentaje restante corresponde a amilopectina es decir, el 94 y 97%.

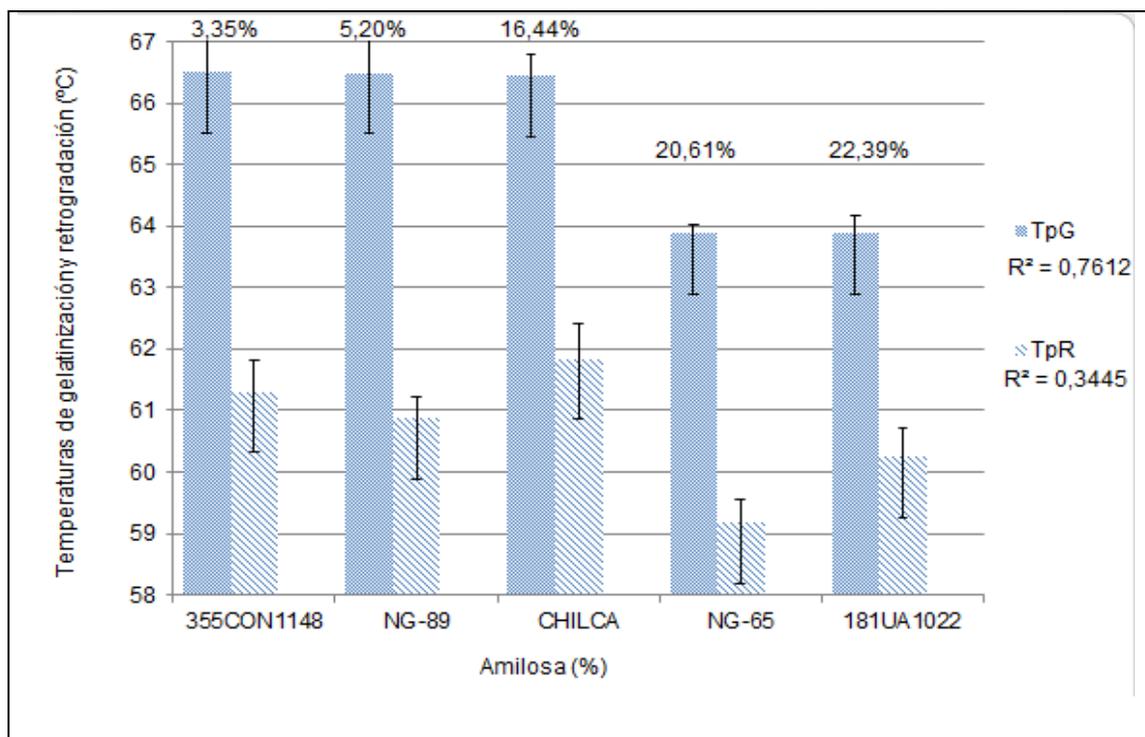
En la FIGURA 4 se observa que existe relación del contenido de amilosa relativa con las temperaturas de gelatinización (TpG). Cuando el contenido de amilosa en los gránulos presenta valores altos estos van a gelatinizar a menor temperatura de calentamiento en relación a las otras muestras, lo que confirma SAIBENE y SEETHARAMAN (2010) en almidones con alto contenido de amilosa, en los cuales sus cadenas en promedio son largas, se ha reportado bajas temperaturas de transición. Por consiguiente se puede explicar que para las muestras de almidón de papa nativa de Chiloé que contienen un porcentaje de amilosa bajo, sus cadenas promedios serían cortas, y se reportarían altas temperaturas de transición.

También se aprecia que los valores de  $\Delta H_r$  de los almidones CHILCA y NG-65 (1,29 y 2,69 J/g) fue más elevado que para las muestras 355CON1148 y NG-89 debido a presentan menor contenido de amilopectina en relación a su contenido de amilosa que es 16,44% y 20,61% respectivamente. Según SINNOT (2007) los valores menores de entalpía de gelatinización están relacionados con menores niveles de amilosa. Es decir, el  $\Delta H_r$  del almidón retrogradado está influenciado por la distribución de la longitud de la cadena y el contenido de amilopectina presente en el almidón.

Las temperaturas de retrogradación obtenidas para los almidones de papa son similares a lo establecido por IQBAL Y MIDO (2005), quienes reportan que los almidones de papa se encuentran en un rango de temperatura de 60 a 63 °C. Las transiciones de fase entre muestras se deben principalmente por diversos factores como: la composición del gránulo (relación amilosa/amilopectina), su estructura (relación cristalino/amorfo), la estructura molecular de la amilopectina (longitud de cadenas) y la presencia de otros componentes como proteínas y lípidos. Según ESPINOZA (2012) otro factor importante a evaluar es el contenido de fósforo donde a menor contenido de fósforo, menor serán las temperaturas de retrogradación. En este estudio se consideró la relación amilosa/amilopectina donde no se observó relación

entre las propiedades térmicas de retrogradación, es decir, se puede atribuir a otros factores como los indicados anteriormente.

Según la FIGURA 4 no se observó influencia con el contenido de amilosa con para las temperaturas peak de retrogradación (TpR).



**FIGURA 4. Relación del contenido de amilosa con las temperaturas gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papa nativa de Chiloé.**

Los almidones que contienen entre 20 a 25% de amilosa (NG-65 y 181UA1022) están sujetos a la retrogradación y no se aconsejan como agentes espesantes porque puedan dar textura granulosa. Sin embargo, los almidones céreos, retrogradan poco; es por ello que se utilizan como agente espesante (KONISHI, 2006).

Según MASAKUNI *et al.*, (2001) la retrogradación es la principal causa de deterioro a corto plazo, debido a que, la amilopectina es una molécula ramificada mientras que la amilosa, por el contrario, posee pocas ramificaciones lo cual va tener una gran tendencia a retrogradar. Donde las ramificaciones de amilopectina impiden la formación de puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes, y es más difícil que

éstas desarrollen la retrogradación. En términos generales la retrogradación depende de la concentración y de la temperatura del sistema; así la firmeza del gel aumenta y se favorece a bajas temperaturas, debido a la asociación de cadenas de amilopectina.

### **3.4 Poder de hinchamiento**

El poder de hinchamiento (PH) es un parámetro que permite observar el incremento del tamaño del gránulo por efecto de la expansión. Según OJEDA (2008) cuando los gránulos de almidón se sumergen en agua, las moléculas de agua se difunden al interior del gránulo por lo que se hincha. Al calentarse se incrementa el volumen llegando el almidón a perder su cristalinidad y la amilosa puede ser lixiviada notablemente formando así un gel.

El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón está relacionado directamente con el contenido de amilosa, considerándose como un factor primordial para comprender las transiciones de fase entre muestras. Donde se evidencia que, al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento del poder de hinchamiento, para cada una de las muestras analizadas

De igual forma esta propiedad está influenciada por las características de la amilosa y amilopectina en cuanto a la distribución del peso molecular, grado de ramificación, longitud de las cadenas y conformación de las moléculas, así como por la formación de complejos amilosa-lípidos que restringen el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones (ALEMÁN, 2012)

Según De la Torre *et al.*, (2008) y Adebowale *et al.*, (2002) citado por ALEMAN (2012) el poder de hinchamiento está relacionado con la unión asociativa dentro del gránulo de almidón, y aparentemente la fuerza y carácter de la red micelar está relacionada con el contenido de amilosa en el almidón, es decir, un alto contenido de amilosa produce un bajo poder de hinchamiento, por lo que requieren de mayor temperatura para que los enlaces de hidrógeno se rompan en las áreas amorfas, provocando un proceso irreversible, contribuyendo así, a la absorción progresiva del agua en los gránulos de almidón. Es importante señalar que el poder de hinchamiento también está determinado con el tamaño del gránulo, temperatura de gelatinización y la organización supramolecular de los componentes del almidón.

En el CUADRO 7, se muestran los resultados del poder de hinchamiento para las cinco variedades de almidón de papa nativa.

**CUADRO 7. Resultados poder de hinchamiento**

Muestras	PH	Tp (°C)* Gelatinización	Tp (°C)* Retrogradación
181UA1022	8,28 ± 1,06 <sup>b</sup>	63,90 ± 0,26	60,26 ± 0,47
355CON1148	11,32 ± 0,10 <sup>a</sup>	66,52 ± 1,11	61,32 ± 0,50
CHILCA	11,10 ± 1,30 <sup>a</sup>	66,46 ± 0,33	61,86 ± 0,55
NG 65	8,85 ± 0,41 <sup>b</sup>	63,94 ± 0,11	59,18 ± 0,36
NG 89	10,73 ± 1,71 <sup>ab</sup>	66,50 ± 0,57	60,88 ± 0,35

\*Valores corresponden a la media de tres repeticiones

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

Para los resultados del poder de hinchamiento se realizó un análisis de varianza (ANOVA), encontrándose una diferencia estadística significativa entre las muestras con un nivel de confianza del 95,0%. Así, se puede afirmar que las muestras 355CON1148, CHILCA son iguales estadísticamente, en relación a las muestras NG-89, 181UA1022 y NG-65 que son significativamente diferentes entre ellas.

Como se observa en el CUADRO 7 los gránulos de almidón 355CON1148, CHILCA y NG-89 presentaron la mayor temperatura de gelatinización (Tp = 66,52, 66,46 y 66,50 °C respectivamente) y mayor poder de hinchamiento (11,32; 11,10 y 10,73) comparados con los otros almidones evaluados, con Tp = 63,90 °C para 181UA1022 y para NG-65 con Tp= 63,94°C con un poder de hinchamiento de 8,28 y 8,85 respectivamente. Las temperaturas de gelatinización de los almidones de papa fueron similares a los reportados por ANDERSON *et al.*, (1969) con un rango de Tp = 61,51 a 68,62°C. Debido a las altas temperaturas de gelatinización los almidones 355CON1148, CHILCA y NG-89 hacen factible su inclusión en productos que serán sometidos a altas temperaturas de procesamiento, como para el desarrollo de nuevos productos como enlatados o para alimentos para bebés. Mientras que los almidones

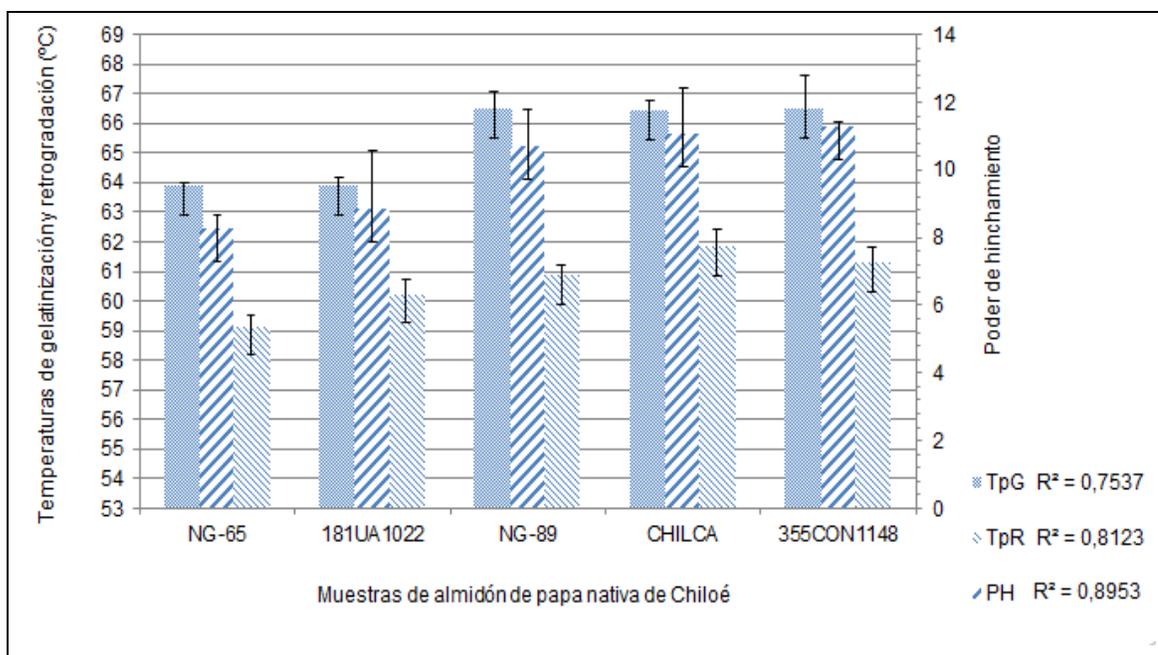
181UA1022 y NG-65 pueden considerarse para ser usados en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como budines.

Los almidones con mayor poder de hinchamiento son 355CON1148 y CHILCA. Cabe destacar que, según LESCANO (2010) el almidón que presenta el mayor poder de hinchamiento podría ser utilizado en productos que requieran retener agua, como los productos cárnicos, embutidos, jaleas, etc.

Según CHENG *et al.*, (1996), el poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento. Debido a lo anterior, el almidón 355CON1148 fue el que presentó mayor poder de hinchamiento, con 3,35% de amilosa; La muestra NG-89 mostró 10,73 de poder de expansión con su contenido de amilosa de 5,20%; La muestra CHILCA mostró 11,10 de poder de expansión con contenido de amilosa de 16,44% La muestra NG-65 presentó 20,61% de su contenido de amilosa y para finalizar la variedad 181UA1022 fue la que obtuvo menor poder de hinchamiento por su contenido de amilosa (22,39%) presente en la muestra. Ya que a mayor contenido de amilosa relativa menor hinchamiento de las partículas. Lo señalado por MOREIRA *et al.* (2013), la baja hidratación e hinchamiento de las partículas de almidón de algunas variedades es producido por una menor área superficial del gránulo o por un alto contenido de amilosa.

Según Camire *et al.*, (1990) citado LEHNEBACH (2006) el contenido de amilosa y amilopectina tiene un importante efecto en la expansión. Almidones con bajo nivel de amilosa produce grandes expansiones, en cambio almidones con altos niveles de amilopectina producen pobres expansiones; por otro lado, Harper (1986) citado por LEHNEBACH (2006) observó que la expansión disminuye a medida que incrementa el contenido de amilosa e informa que con un mayor contenido de amilopectina se obtiene una mayor expansión siempre y cuando ésta no sea sometida a un daño mecánico (trituration), lo cual es altamente probable debido al gran tamaño de la molécula. Este almidón dañado, presentaría una menor cohesividad, consecuentemente expandiría menos, predominantemente en la dirección longitudinal.

Como indica la FIGURA 5, cuando los gránulos de almidón se empiezan a expandir es por el incremento de las temperaturas de gelatinización, es decir, aquellos gránulos que necesiten de mayores temperaturas para gelatinizar serán aquellos que absorban más agua y por lo mismo su poder de expansión será mayor que el de los gránulos más pequeños. Lo que también indica MEDINA (2007), el tamaño de los gránulos de almidón, al ser grandes tienden a absorber mayor cantidad de agua que los gránulos de menor longitud. Aquellos gránulos de almidón con menor poder de hinchamiento serían los primeros en gelatinizar (181UA1022 y NG-65). Esto se debe a que ambos factores (Temperatura de gelatinización y poder de hinchamiento) van directamente relacionados, este incremento está dado principalmente por la presencia del contenido de amilosa que presenta el gránulo, o sea, en presencia de bajo contenido de amilosa se obtienen altos valores de poder de hinchamiento, por lo tanto, el almidón gelatinizaría a temperaturas altas y continuaría con su proceso de ruptura molecular del gránulo. Como lo afirma MÉNDEZ (2009) la capacidad de hinchamiento es proporcional a la temperatura de gelatinización, a mayor temperatura de gelatinización los almidones muestran mayores capacidades de hinchamiento.



**FIGURA 5. Relación poder de hinchamiento con temperaturas de gelatinización y retrogradación para las cinco variedades de almidón de papa nativa de Chiloé.**

En la FIGURA 5, también se observa la relación del poder de hinchamiento con las temperaturas de retrogradación. Donde se determinó que no existe correlación entre estas variables. Debido a que, en el transcurso de la gelatinización del almidón, se pierde la birrefringencia y por lo mismo las regiones cristalinas del gránulo. Lo que provocará que el hinchamiento de este aumente su volumen, casi el doble del inicial, provocando la fragmentación del gránulo en un rango de temperatura de gelatinización de 59 a 75 °C. Lo cual, el gránulo no se seguirá hinchando posterior a la fragmentación, debido a que se rompen los puentes de hidrógenos que mantenían la estructura firme del gránulo, y por lo mismo, no existirá hinchamiento del gránulo en el proceso retrogradación del almidón.

Los valores de entalpía de retrogradación están en el rango de 0,62 a 2,69 J/g valores inferiores a los reportados por SAIBENE y SEETHARAMAN, (2010). Respecto a lo observado en la retrogradación para las cinco variedades de papas nativas, los valores de  $T_pG$  y  $\Delta HG$  del almidón nativo, fueron mucho más altos que los del almidón retrogradado. Según KONISHI *et al.*, (2006) esta diferencia es apoyada por el hecho de que el proceso de gelatinización del almidón nativo comprende el hinchamiento de los gránulos, fusión de cristalitos y la hidratación de moléculas de almidón, mientras que la el almidón retrogrado está principalmente relacionado con la realineación de las molecular y con la firmeza del gel.

## 4 CONCLUSIONES

- El rango de tamaño de los gránulos fue bastante similar a las referencias encontradas en la literatura, que permitió establecer una clasificación para diferenciar las muestras de acuerdo a su tamaño. El almidón de papa nativa de Chiloé, a diferencia de otros almidones de distintas fuentes, posee mayor tamaño de gránulos dentro de la clasificación de tubérculos.
- Se observó una estrecha relación de las propiedades térmicas de gelatinización con las propiedades fisicoquímicas. Concluyendo que, a mayor tamaño de gránulos, mayor poder de hinchamiento y mayor contenido de amilopectina, los gránulos de almidón son más resistentes a las altas temperaturas, siendo los últimos en gelatinizar.
- Respecto a las propiedades térmicas de retrogradación, no se observó relación frente al poder de hinchamiento. Debido a que el hinchamiento del gránulo se detiene al momento de fragmentarse a temperaturas de gelatinización, lo que no permite realizar comparaciones con respecto al proceso posterior.
- Se puede mencionar que para un mejor entendimiento de la influencia de las propiedades fisicoquímicas sobre las propiedades de geles de almidón, sería recomendable la comparación con otros parámetros obtenidos de literatura, tales como el contenido de fósforo y lípidos. Además de la influencia que presentan factores como el método de extracción y/o aislamiento del almidón.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- ALEMÁN, SH. 2012. Estudio de la composición físico-química, propiedades funcionales y nutricionales de almidones nativos y modificados extraídos de clones de diferentes variedades de musáceas. Tesis M. Sc. Maracay. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. 256 p.
- ANDERSON, R; CONWAY, H y PEPLINSKI, A. 1970. Gelatinization of corn grifts by roll and extrusion cooking, extrusion Cooking and Steaming. *Cereal Science Today* 22(4): 130 - 135.
- ARAUJO, C; RINCÓN, A y PADILLA, F. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Unidad de Investigación de Análisis de Alimentos* 54(2): 241-245 p.
- BELITZ, H; GROSCH, W. y SCHIEBERLE, P. 2009. *Food Chemistry*. Springer-Verlag. Berlín. 1070 p.
- CAMPBELL, G. 2009. *Food science and technology*. Blackwell Publishing Ltd. USA 520 p.
- CEDEÑO, V Y GARLAZA, A. 2013. Efecto del tipo de variedad de arroz ecuatoriano en las características de hidratación de la harina y del gel. Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 6 p

- CHEFTEL, J. 1999. Introducción a la bioquímica y biotecnología de los alimentos Acribia.. España. 269 p.
- CHENG, Y; TSAI, M. y TSENG, K. 1996. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. Carbohydrates 73(4): 415 – 420
- 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. Inglaterra. 5: 501 p.
- ESPINOZA, R. 2012. Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé. Tesis Ing. en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad Ciencias Agrarias.34 p.
- GOMAND, S; LAMERTS, L; VISSER, G. y DELCOUR. J. 2010. Physicochemical properties of potato and cassava starches and their mutants in relation to their structural properties. Food Hydrocolloids 24 (4): 424 - 433.
- HERNANDEZ, M; TORRUCO, J; GUERRERO, L. y BETANCUR, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán. Food Science and Technology 28(3): 718 - 726

HOOVER, R y RATNAYAKE. 2001. Determination of Total Amylose Content of Starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 2(3): 1 - 5

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

KAUR, A; SINGH, N; EZEKIEL, R. y SINGH, N. 2009. Properties of starches separated from potatoes stored under different conditions. *Food Chemistry* 114(4): 1396 - 1404

KONISHI, Y; ARNAO, I. y CALIXTO, M. 2006. Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencial. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 72: 125 – 132

LEHNEBACH, G. 2006. R Efecto de la Utilización de Distintas Fuentes de Almidón en Alimento Extruído Para Salmónidos. Tesis Ing. en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad Ciencias Agrarias.75 p.

LESCANO, G. 2010. Caracterización de las harinas de trigo nacional (cojitambo), maíz (iniap 122), cebada (cañicapa), quinua, papa (gabriela), destinadas a panificación mediante la determinación de las propiedades funcionales de sus almidones. Tesis Ing. En Alimentos. Ecuador. Universidad técnica de Ambato. 147 p.

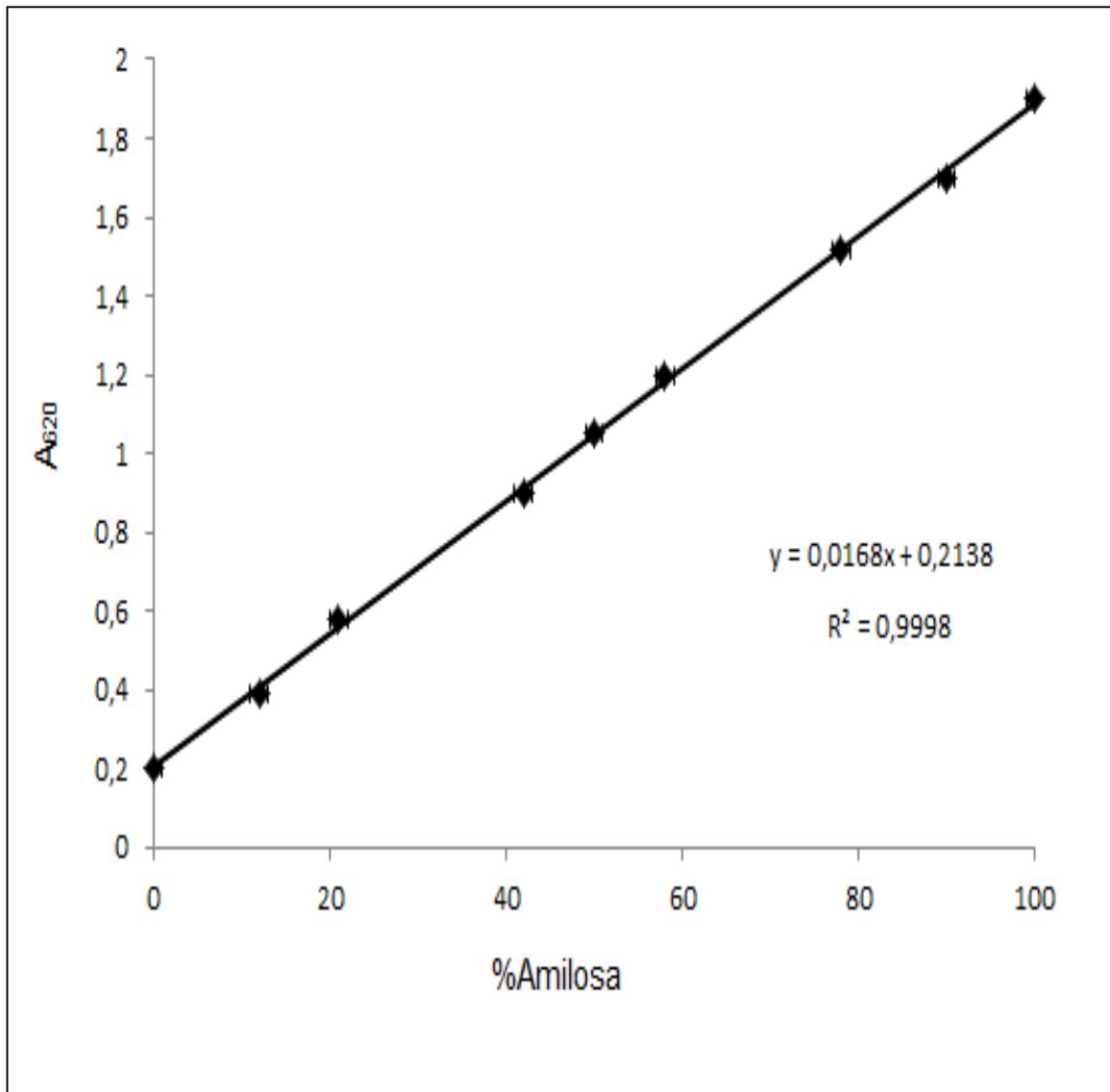
LIU, C; YU, L; DEAN, K; SIMON, G; PETINAKIS, E y CHEN,L. 2009. Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. *Carbohydrate Polymers* 75: 395-400

- MASAKUNI, T. y SUSUMI, H. 2002. Gelatinization mechanism of potato starch. *Carbohydrate Polymers* 48(4): 397 - 401
- MEDINA, J. 2007. Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de ingeniería* 56 – 62.
- PRIETO.J, RUBIO.C, ROMÁN.A, MÉNDEZ.M, GONZÁLEZ.C Y PRIETO.F. 2009. Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess), Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. *Ciencias del Agro y del Mar* 9(2): 115 - 125
- 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; BACHED, L; ARAGOZA, L. Y PADILLA, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de frutos de pan (*Artocarpus altilis*). *Archivos Latinoamericanos de nutrición* 57(3): 287 - 294
- RIVAS.M, ZAMUDIO, P Y BELLO, L. 2009. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química (MÉXICO)* 8(3): 291-297.

- SAIBENE, D. y SEETHARAMAN, K. 2010. Amylose involvement in the amylopectin clusters of potato starch granules. *Carbohydrate Polymers* 82(2): 376 – 383
- 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
- SHINDE, S. y HUBER, K. 2003. Soft wheat starch pasting behavior in relation to A-and B-type granule content and composition. *Cereal Chem* 80: 91 - 98
- SINNOT, G. 2007. *Carbohydrate Chemistry and Biochemistry: Structure and mechanism*. Royal Society of Chemistry. 748 p.
- SMITH, AM; DENYER, K. y MARTIN, C. 1997. The synthesis of the starch granule. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 48:67 - 87.
- STAWSKI, D. 2008. New determination method of amylose content in potato starch. *Food Chemistry* 110(3): 777 - 781.
- TAKAHIRO, N; SHIGENOBU, T; CHIE, M; SUN-JU, K; NAOTO, H., YAMAUCHI, H; ISAO, H. y YASUHITO, T. 2005. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. *Carbohydrate Polymers* 60(2): 245 - 251
- 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

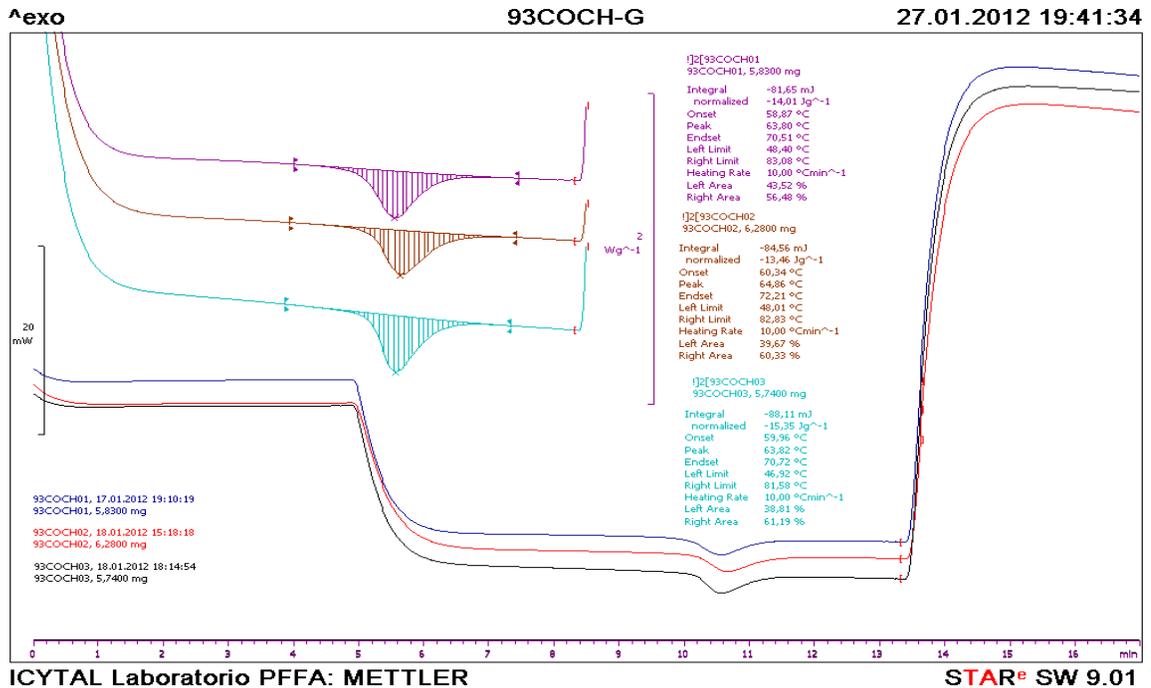
YONEYA, T., ISHIBASHI, K., HIRONAKA, K. y YAMAMOTO, K. 2003. Influence of cross-linked potato starch treated with  $\text{POCl}_3$  on DSC, rheological properties and granule size. *Carbohydrate Polymers* 53: 447–457

## 6 ANEXOS

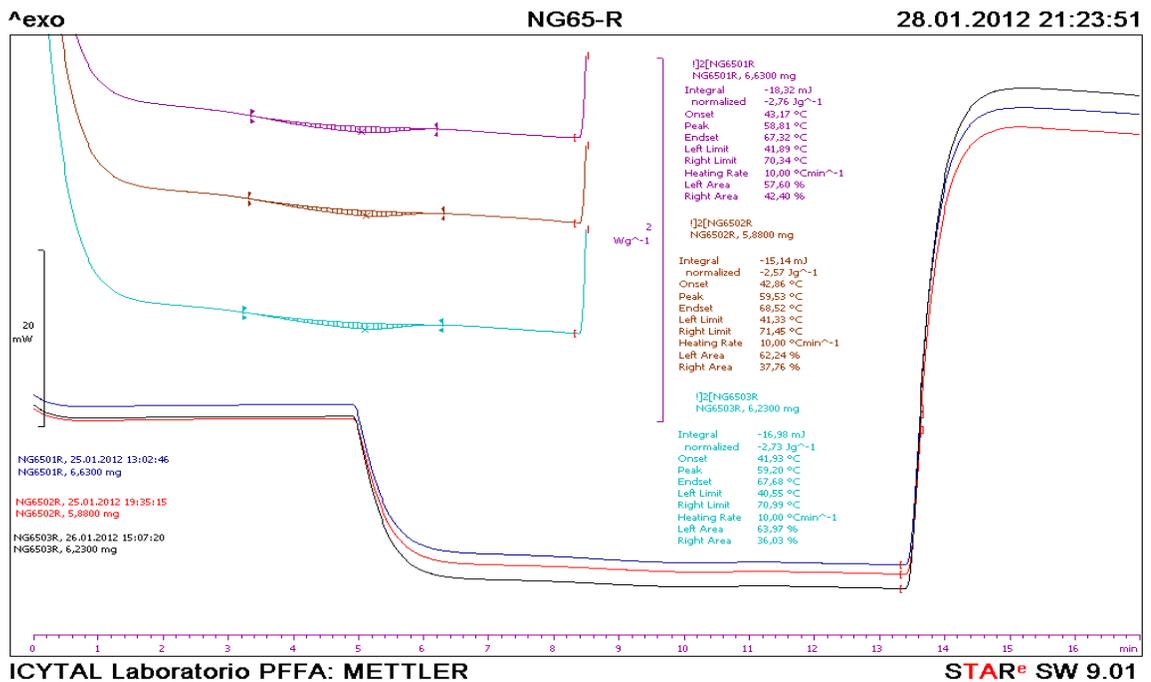
**ANEXO 1 Curva de calibración**

FUENTE: HOOVER y RATNAYAKE, (2001)

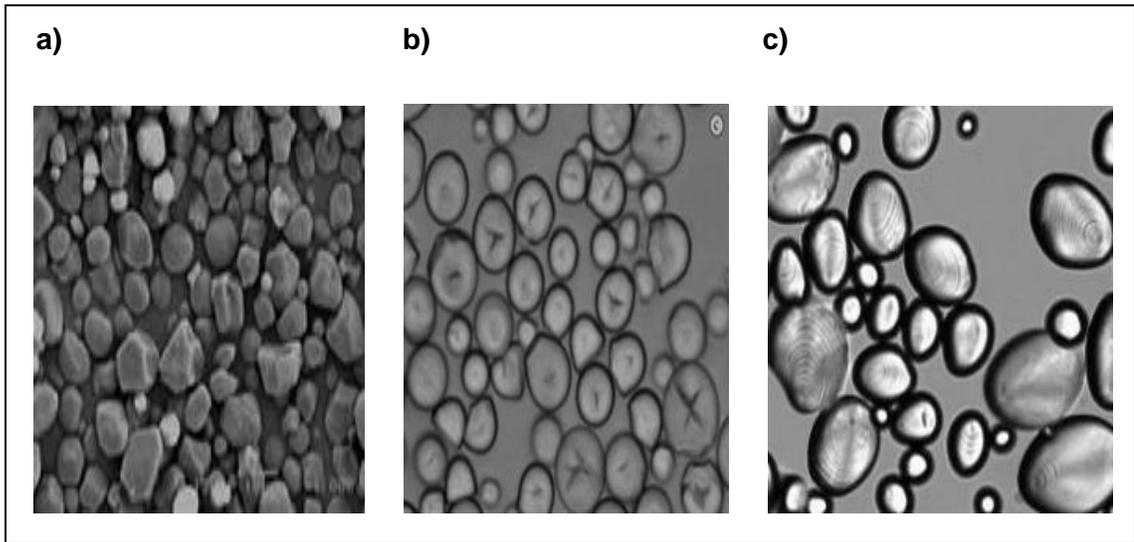
## ANEXO 2 Curva de gelatinización y retrogradación de una muestra evaluada por la técnica de calorimetría diferencial de barrido.



FUENTE: ESPINOZA, (2012)



FUENTE: ESPINOZA, (2012)

**ANEXO 3 Micrografías de los gránulos de almidón a) maíz b) yuca c) papa**

FUENTE: HERNANDEZ, (2008)