



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**Comportamiento térmico de la *Colocasia Esculenta*
(Papa China)**

**Trabajo de graduación previo al título de:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

Autora:

GRACE ESPINOZA

Director:

ANDRÉS PEREZ GONZÁLEZ

Cuenca - Ecuador

2019

DEDICATORIA

A mi mamá,
porque me impulsó y alentó a ganar esta batalla.

A mi papá,
porque me enseñó a perseguir mis sueños.

A Edgar,
porque no me dejó bajar la guardia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por iluminar mi camino y darme la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis padres y hermano, por su gran amor y paciencia.

A la familia Encalada Procel, por la grata acogida en sus vidas.

Al Doctor Piercosimo Tripaldi, por trasmitirme sus conocimientos y dedicación para la realización de esta investigación.

Al Ingeniero Andrés Pérez, por su excelente colaboración para la realización de esta investigación.

“COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA *COLOCASIA ESCULENTA* (PAPA CHINA)”

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar e identificar el comportamiento térmico de la *Colocasia Esculenta* (Papa china), esta es una planta herbácea y su cultivo es altamente resistente al embate de plagas y enfermedades. Su alto valor alimenticio influye en el amplio cultivo de esta especie en la región amazónica del Ecuador, en donde constituye uno de los tubérculos con mayor índice de consumo. En este estudio se obtuvo resultados gráficos del comportamiento térmico, la cristalinidad y gelificación tanto de la papa china como su almidón; teniendo poca diferencia entre otros tubérculos, además, se pudo corroborar la información bibliográfica utilizada para la comparación.

Palabras clave: Comportamiento térmico, *Colocasia Esculenta*, Papa China, planta herbácea.



Ing. María Fernanda Rosales, Msc.
Directora de la Escuela



Ing. Bolívar Andrés Pérez, Msc.
Director de Trabajo de Titulación



Grace Elizabeth Espinoza Ortiz
Autora

"THERMAL BEHAVIOR OF *ESCULENTA COLOCASIA* (PAPA CHINA)"

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate and identify the thermal behavior of the *Colocasia esculenta* (Papa china). This is an herbaceous plant and its cultivation is highly resistant to the onslaught of pests and diseases. Its high nutritional value influences the extensive cultivation of this species in the Amazon region of Ecuador, where it is one of the tubers with the highest consumption rate. In this study we obtained graphical results of the thermal behavior, the crystallinity and gelation of both the papa china and its starch. There was a slight difference between other tubers. In addition, the bibliographic information used for the comparison was corroborated.

Keywords: thermal behavior, *Colocasia esculenta*, Papa china, herbaceous plant.

Ing. María Fernanda Rosales, Msc.
Faculty School Director

Ing. Bolívar Andrés Pérez
Thesis Director

Grace Elizabeth Espinoza Ortiz
Author


Magali Arteaga
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by
Mg. Magali Arteaga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
1. Lugar de investigación.....	11
2. Preparación del almidón de papa china.....	11
2.1. Separación por tamaño de grano.....	11
3. Caracterización química.....	12
3.1. Contenido de fibra.....	12
3.2. Contenido de cenizas.....	12
3.3. Contenido de humedad.....	12
3.4. Contenido de nitrógeno.....	12
3.5. Contenido de lípidos.....	12
4. Comportamiento térmico.....	13
4.1. Método diferencial de barrido (DSC).....	13
5. Espectroscopia infrarroja.....	13
6. Viscosidad.....	14
CAPÍTULO II.....	15
RESULTADOS.....	15
1. Caracterización química.....	15
2.1. Método diferencial de barrido (DSC).....	15
CAPÍTULO III.....	26
DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la composición por 100 g de porción aprovechable entre la papa china y la papa común.	3
Tabla 2. Resultados de los análisis de la caracterización química.	15
Tabla 3. Condiciones aplicadas en la Papa china para el Método diferencial de barrido.	16
Tabla 4. Ejemplo del cálculo de la energía de gelificación.	16
Tabla 5. Cristalinidad de las diferentes fracciones de almidón de Papa China.	20
Tabla 6. Análisis de la varianza aplicando los datos de cristalinidad.	20
Tabla 7. Resumen del test LSD, aplicado luego del análisis de varianza.	21
Tabla 8. Cristalinidad de diferentes tipos de almidones. a. Autor, b. (Valcárcel Yamani, Rondán Sanabria, & Finardi Filho, 2013)	27
Tabla 9. Temperaturas y cantidad de energía de algunos tipos de almidón. a. Autor, b. (Thirathumthavorn & Trisuth, 2008), c. (Sun, y otros, 2014).	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la Papa china.	2
Figura 2. Flujo de calor del DSC.	5
Figura 3. Gráfica endotérmica que mide áreas y temperaturas.	6
Figura 4. Cristalinidad en almidón	7
Figura 5. Esquema de un interferómetro de Michelson	8
Figura 6. Viscosímetro de cilindros concéntricos	9
Figura 7. Variación de la viscosidad de la dispersión del almidón de papa china en agua al variar del gradiente de velocidad de cizalla.	10
Figura 8. Molino de tres cilindros, Gabbrielli®.	12
Figura 11. Equipo DSC.	13
Figura 9. Viscosímetro Fungilab.	14
Figura 10. Spindle TR8.	14

Grace Espinoza

Trabajo de Graduación

Andrés Pérez González

Febrero, 2019

Comportamiento térmico de la *Colocasia Esculenta* (Papa china)

INTRODUCCIÓN

La *Colocasia Esculenta* o más conocida como papa china o taro, es una planta herbácea que pertenece a la especie de la *Colocasia Araceae*. El cultivo de esta planta es relativamente sencillo y resistente al embate de plagas y enfermedades. Es posible almacenar sus tubérculos en el suelo sin que sufran daños; sin embargo, es altamente perecedero después de la cosecha debido a su alto contenido de humedad (Himeda, Njitang, Gaiani, Nguimbou, Scher, Facho, Mbofung, 2012). El esquema de la papa china se detalla en la figura 1.

Varias teorías dan indicios que la Papa china se originó en el Sur de Asia Central, entre Malasia y la India, posteriormente, los cultivos se extendieron a través de las zonas tropicales llegando hacia África Occidental (Wagner, Herbst y Sohmer, 1999). No obstante, con el paso del tiempo, estos cultivos se han diseminado en casi todas las zonas tropicales y subtropicales de la tierra.

Adicionalmente, se ha reconocido que los tubérculos de esta planta constituyen una fuente barata de carbohidratos con relación a otras especies de tubérculos o cereales, debido a su alto contenido de almidón (Himeda et al., 2012).

Por esta razón, la Papa china ocupa el quinto puesto en el cultivo de raíces y tubérculos a nivel mundial; mientras que, en la región amazónica del Ecuador es uno de los más consumidos gracias a su alto valor alimenticio (FAO, 2010).

Características de la Papa china

Esquema de la Papa china

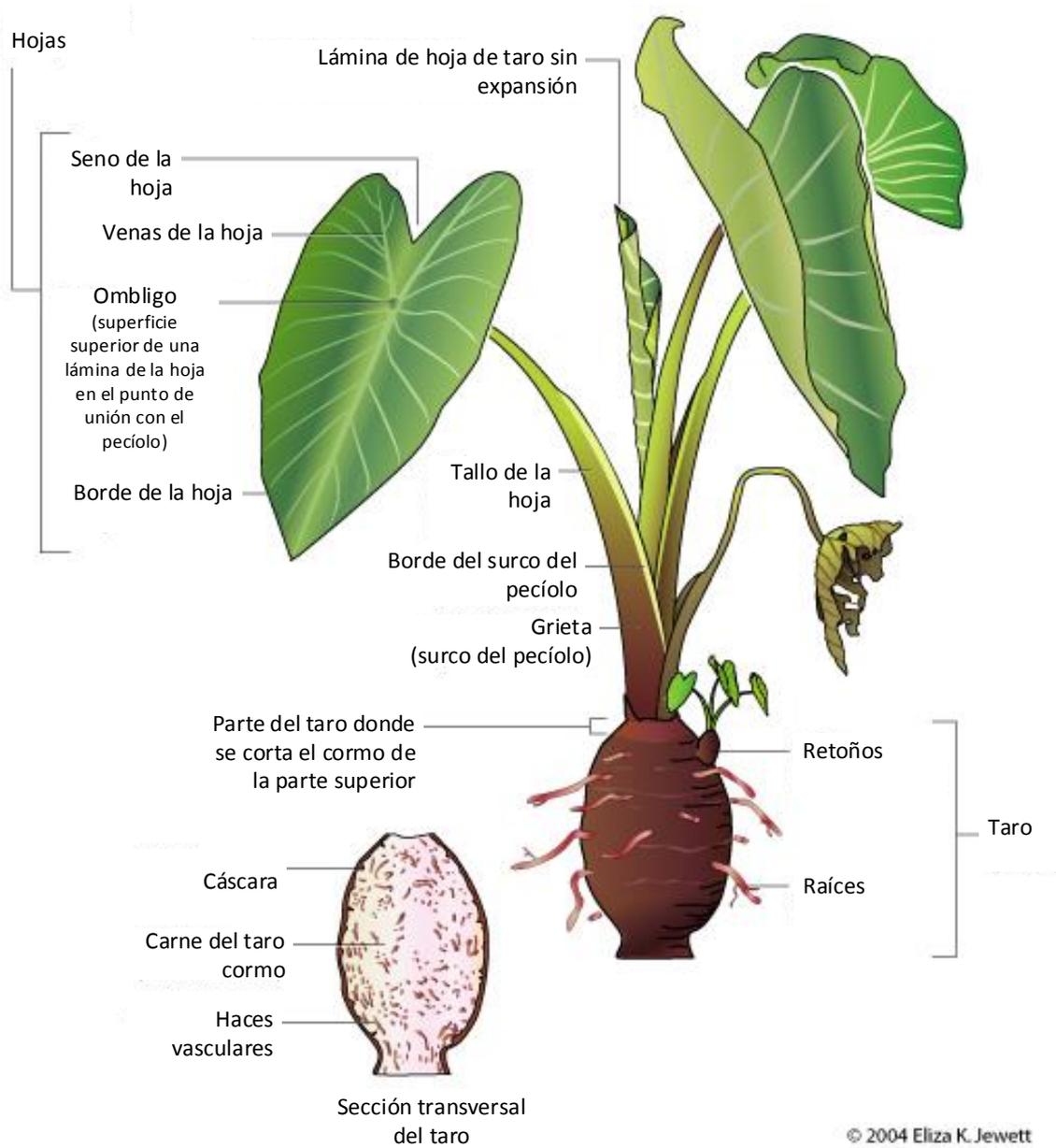


Figura 1. Esquema de la Papa china
Fuente: Jewett (2004)

Composición de la Papa china

Tabla 1. Comparación de la composición por cada 100 g de porción aprovechable entre la Papa china y la Papa común.

Tubérculo	Valor energético (calorías)	Humedad	Proteína	Hidratos de carbono totales	Fibra	Minerales				Ácido ascórbico
						Totales	Ca	Fe	P	
Papa china ¹	101	72,3	2,2	24,3	0,5	1	35	1	70	7
Papa ²	79	77,9	2,8	18,2	0,6	0,9	10	1	50	20

Fuente: ¹Instituto Nacional de Nutrición (1965), Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) y ²Comité Interdepartamental de Nutrición para la Defensa Nacional (ICNND) (1970).

Usos de la Papa china

De acuerdo con Fern (2018), la Papa china se utiliza para la preparación de alimentos, que se hierve, hornea, asa, fríe, etc. Se la puede usar en platos salados como sopas o curries, o en comidas dulces. Los granos de almidón que contiene esta planta son muy pequeños, siendo fácilmente digeribles y se usan para hacer alimentos para bebés que se dice no son alérgicos.

Adicionalmente, en ciertos lugares se hacen alimentos procesados y almacenables a partir de la Papa china, los más conocidos son los chips para consumo humano; sin embargo, su disponibilidad es esporádica y las cantidades producidas son pequeñas, además se puede obtener harina a partir de ella, la cual se usa como espesante para sopas y otras preparaciones. En sectores menos desarrollados, se suele secar al sol los cornos en rodajas y luego se muelen para producir harina. Otra forma procesada y empacada es el "Poi", una pasta ácida hecha de Papa china hervida (FAO, 2010).

Esta planta también tiene usos medicinales, debido a que es antibacteriana e hipotensora. Se puede hacer una infusión de las hojas, con algunas partes de otras plantas, para aliviar los problemas estomacales y tratar los quistes. La savia del tallo de la hoja puede ser usada para tratar la conjuntivitis. Además, se utiliza para tratar heridas, gracias a sus propiedades antibacterianas (Fern, 2018).

En el Ecuador, los cultivos de Papa china han sido solamente para la subsistencia; no obstante, con el exceso de producción que tienen las familias de los productores se ha comenzado a destinar a la exportación, al ser un producto de calidad. Los principales cultivos están ubicados en el oriente ecuatoriano, principalmente en la provincia de Pastaza. En este lugar, los agricultores han conformado la Corporación Artesanal de Productores de Papa China de Pastaza, con el objetivo de producir y comercializar este producto y mejorar su economía (El Telégrafo, 2013).

Por otro lado, según un estudio realizado en Nigeria por Agwunobi, Angwukam, Cora e Isika (2002) señala que la Papa china hervida o secada al sol, se utiliza como alimento para animales, específicamente para cerdos. Dado que, los resultados de su investigación reflejaron que, al utilizar la Papa china como reemplazo del maíz, el rendimiento de los cerdos mejoró.

Tipos de Papa china

En el oriente ecuatoriano, específicamente en la provincia de Morona Santiago, se cultivan dos tipos de Papa china; la una de ellas es cultivada con aporque y la otra sin aporcar (Armas, 2012). Estas dos variedades son nativas de la zona por el largo tiempo que se han cultivado; pero, la variedad que contiene aporque presenta una mayor producción para el mismo período de cosecha y características del suelo similares.

Con referencia a lo anterior, Armas (2012) señala que cuando se aporca, el 67% de las cosechas van destinadas a la exportación, el 31% para semillas y el 2,08% se utilizan para alimentar a los animales, como los cerdos; al contrario, cuando no se aporcan solo el 47% de la producción se exporta, un 40,34% sirve para semilla y el 12,52% sirven para el consumo de los animales.

Problemática y objetivos

Luego de una revisión bibliográfica se observa que existe poca información sobre el comportamiento térmico de la Papa china, evidenciando reducidos datos que reflexionen sobre el comportamiento térmico de este tubérculo y cuanto afecta la presencia de agua y aceite al someterla a diferente temperatura. Al respecto, es importante realizar el presente estudio que tiene como objetivo valorar el comportamiento térmico de la Papa china, determinando la composición bromatológica y los fenómenos físicos químicos de las variaciones térmicas que se puedan formar, como la cristalinidad y la gelificación.

Método de análisis térmico - DSC (Calorimetría de barrido diferencial)

Existen varios tipos de calorimetría diferencial de barrido, a saber:

1. Flujo de calor DSC con sistema de medición de torre.
2. Flujo de calor DSC con sistema de medición de cilindro.
3. Compensación de potencia.

El presente estudio ha sido realizado por medio del método de sistema de medición de torre, cuyo objetivo es que el flujo de calor pase desde la parte inferior del horno a través de la camisa de dos cilindros de pared delgada, para el calentamiento de la muestra y la referencia que puede ser un metal de alta pureza, usando patrones como el Indio o el Zinc. Además, mide la temperatura de la placa entre las dos torres. Con los datos de estos tres sensores se obtiene la variación del flujo de calor desde el horno hacia la muestra y la referencia. La diferencia entre estos dos flujos se grafica frente a la temperatura; obteniendo así, el comportamiento térmico de la muestra. El sistema se puede observar en la figura 2.

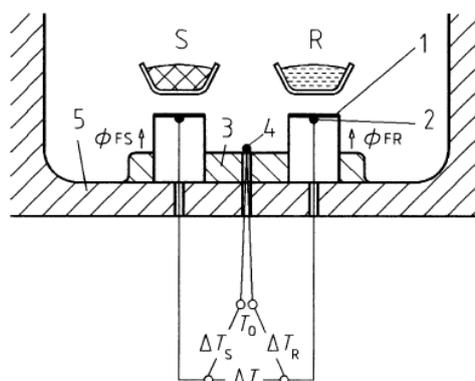


Figura 2. Flujo de calor del DSC.

Fuente: Höhne, Hemminger y Flammersheim (2003)

Nota: S, muestra; R, referencia; 1, plataforma para la muestra y referencia; 2, termopar; 3, base; 4, termocupla; 5, horno; ΔT , instrumento para medir la diferencia de temperatura.

Una típica gráfica de calorimetría diferencial de barrido, se presenta en la figura 3:

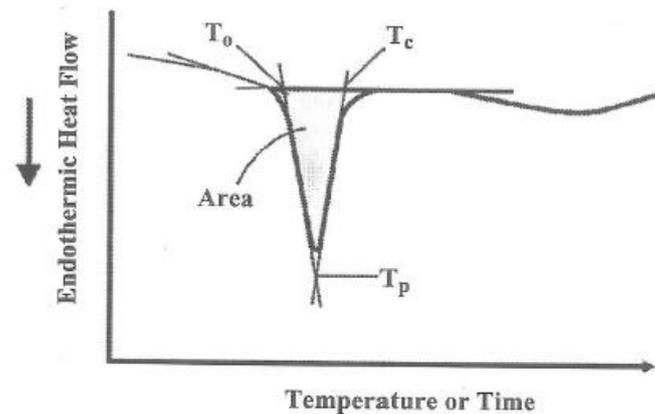


Figura 3. Gráfica endotérmica que mide áreas y temperaturas.

Fuente: Sahin y Gülüm, 2006, p.148.

Nota: T_0 , temperatura inicial; T_p , temperatura máxima; T_c , Temperatura final.

Es decir, la entalpía absorbida por una transformación química del alimento, corresponde al área de la figura 3.

Cristalinidad de los almidones

La importancia de la caracterización de almidones se relaciona con su utilidad al momento de seleccionar la materia prima para la industria alimentaria, debido a la relación de sus componentes con el porcentaje de cristalinidad y sus efectos en la humedad, la dureza y el color del producto final. Bajo tal contexto, la cristalinidad en el almidón se encuentra asociada con el contenido de amilopectina y la fase amorfa con la amilosa, como se indica en la figura 4. A medida que la temperatura se incrementa, el almidón absorbe calor para producir la solubilización de la amilosa (parte amorfa), mientras que la parte cristalina se mantiene en la solución acuosa y a mayor temperatura se inicia la fusión de cristales de amilopectina (Pardo, Castañeda, & Ortiz, 2013).

Según Espín, Villacrés y Brito (2014), cada almidón contiene diferente grado de cristalización; y por lo tanto, se hincha y gelatiniza en diferentes condiciones de temperatura. Los gránulos de almidón se encuentran en un sistema polimérico semi

cristalino, donde la cristalinidad varía entre el 15 al 45%, y es atribuida a las cadenas cortas lineales de la amilopectina que forman dobles hélices organizadas en una estructura cristalina tridimensional (Hernández, Torruco, Chel, & Betancur, 2008).

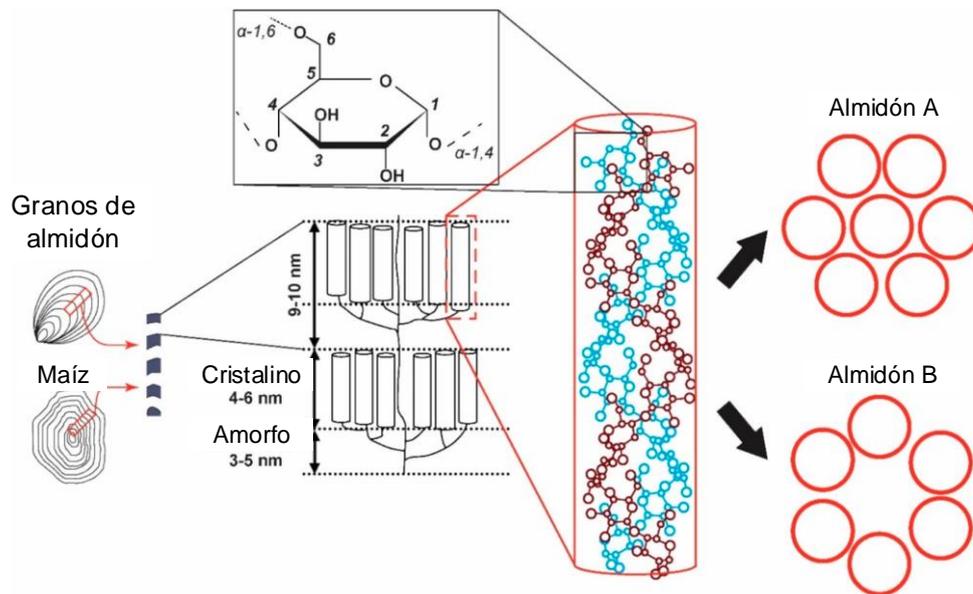


Figura 4. Cristalinidad en almidón

Fuente: Poulhazan, Arnold, Warschawski y Marcotte (2018)

La determinación de la cristalinidad daría una evaluación semicuantitativa del contenido de amilopectina presente en el almidón mismo. La fracción de almidones cristalinos, puede ser determinada o mediante difracción por rayos X o mediante espectroscopia infrarroja. En este estudio, se ha determinado la cristalinidad mediante la técnica de Espectroscopia Infrarroja (IR), según (Sun, y otros, 2014).

Espectroscopia Infrarroja (IR)

La Espectroscopia Infrarroja es una técnica que estudia la absorción o emisión de energía radiante provocada por la interacción de la radiación electromagnética y el material de estudio. Se fundamenta en la posibilidad que tienen los enlaces moleculares de vibrar a diferentes frecuencias. Es decir, la molécula puede absorber la energía de fotones en el campo energético de IR, siempre y cuando exista una variación en el momento bipolar a lo largo de la vibración (Piqué y Vázquez, 2012).

En este trabajo se ha utilizado el infrarrojo medio entre energías de 600 hasta 4000 cm^{-1} . Los espectrómetros en infrarrojo se dividen en dos grandes tipos:

1. De dispersión que tienen una estructura parecida a los de espectrofotómetro UV visible

- De transformada de Fourier que son los más modernos y que han prácticamente reemplazado a los anteriores.

En la espectrometría FT-IR se utiliza un interferómetro Michelson, que consta de dos espejos planos perpendiculares, uno de los cuales puede viajar en una dirección vertical al plano (ver figura 5). Una capa semi-reflectante, el divisor de viga divide en dos partes los planos de ambos espejos. Se debe elegir el material del divisor de viga de acuerdo con la región que se pretende examinar. Los materiales como el germanio o el óxido de hierro se recubren sobre un sustrato “transparente al infrarrojo” como el bromuro de potasio o el yoduro de cesio, a fin de producir divisores de vigas para las regiones del infrarrojo medio o cercano (Stuart, 2004, p.18).

En la figura 5. Se presenta un esquema del aparato de espectroscopia infrarroja.

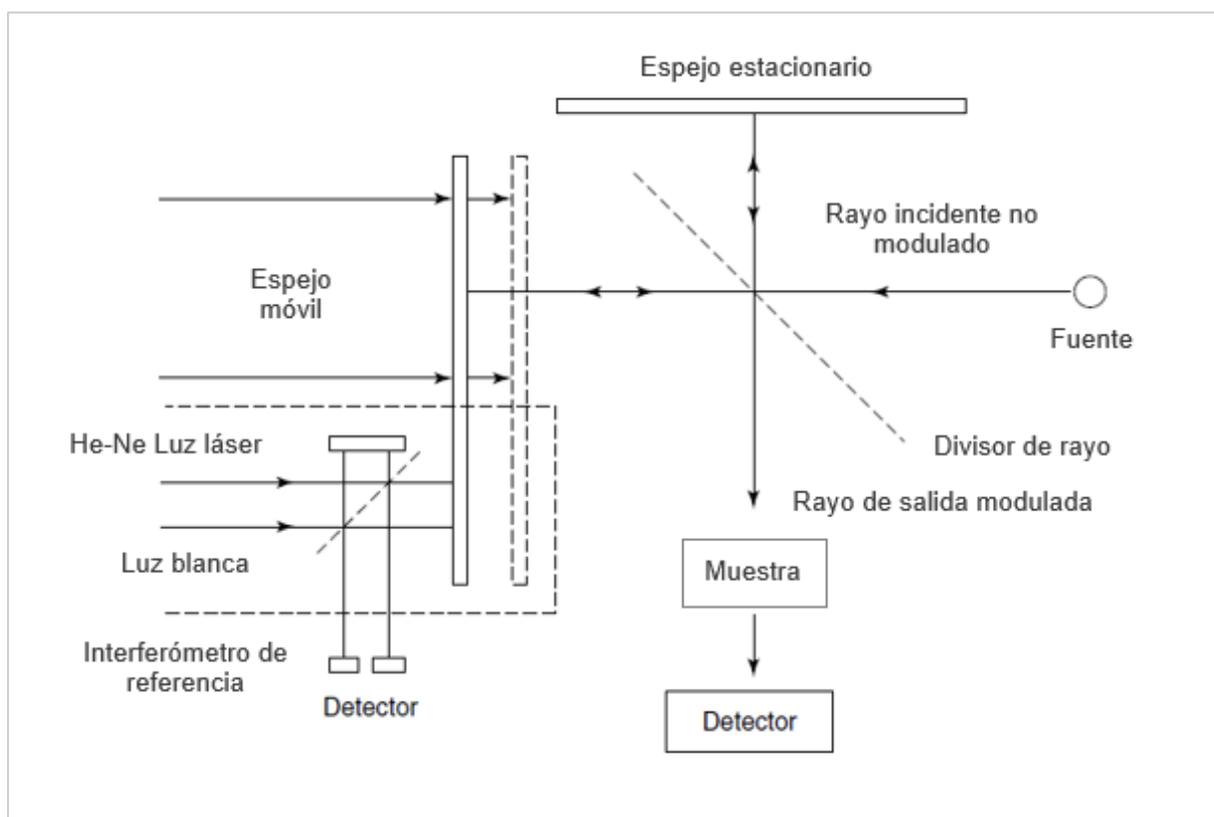


Figura 5. Esquema de un interferómetro de Michelson
Fuente: Stuart, 2004, p.19.

Si un rayo saturado de radiación monocromática de longitud de onda λ (cm) pasa a un divisor de rayos ideal, el 50% de la radiación incidente se reflejará en uno de los espejos, mientras que el otro 50% se transmitirá al otro espejo. Los dos rayos se

reflejan en estos espejos y regresan al divisor donde se recombinan e interfieren dando una típica figura de interferencia. Si en el camino se pone una muestra, la figura de la interferencia cambia en función a la muestra; es decir, se reconstruye mediante la técnica Transformada de Fourier (Stuart, 2004, p.18). Las ventajas de este sistema con respecto al de dispersión, son las siguientes:

- Da lecturas en milisegundos y al mismo tiempo puede leer muchos espectros para dar un promedio de todas ellas.
- Tiene alta precisión.

Reología de las dispersiones de almidón de Papa china en agua

Si se estudia la reología de las dispersiones de Papa china en agua a diferentes temperaturas, se puede detectar el inicio de la gelificación de forma independiente al análisis térmico. Para este estudio se ha utilizado un viscosímetro rotativo como se observa en la figura 6.

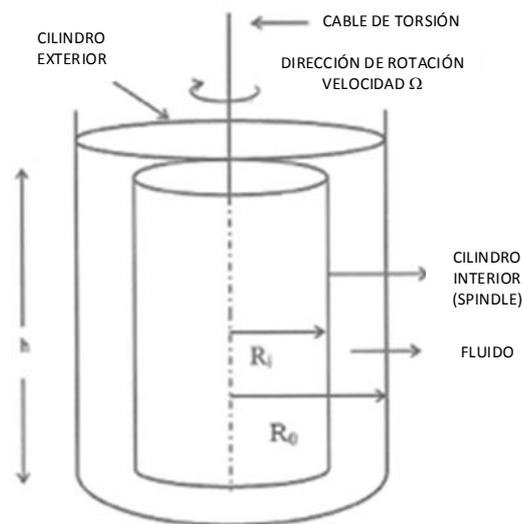


Figura 6. Viscosímetro de cilindros concéntricos

Fuente: Sahin y Gülüm, 2006, p. 61.

Nota: h, altura; R_i , radio del cilindro interior; R_o , radio del cilindro exterior.

Este instrumento normalmente produce una gráfica que interpreta la viscosidad y la temperatura, como en la figura 7.

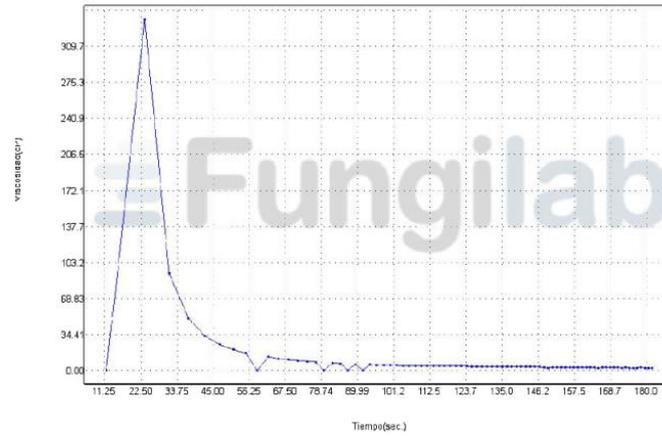


Figura 7. Variación de la viscosidad de la dispersión del almidón de Papa china en agua al variar del gradiente de velocidad de cizalla.

CAPÍTULO I

MATERIALES Y MÉTODOS

Como antecedentes a la aplicación práctica del estudio, se levantó información primaria que fundamentó la experimentación objeto de estudio, cuyas fases cumplidas son las siguientes:

1. Lugar de investigación

El trabajo experimental se llevó a cabo en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, en el laboratorio de Análisis de Química Instrumental, el cual cuenta con los equipos y material de trabajo ideal para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto.

2. Preparación del almidón de Papa china

La Papa china se obtuvo del mercado El Arenal en la feria de los miércoles, la cual regularmente proviene de la Provincia Morona Santiago. La extracción de almidón de Papa china se realizó por medio del método de Aparicio, Waliszewski y Monroy (2003), con diferencia de que la Papa china necesitó dos días de reposo para extraer la mayor cantidad de almidón.

2.1. Separación por tamaño de grano

El almidón que se obtuvo después de dos días se trituró en un mortero, para molerse a través de tres cilindros de doble efecto marca Gabbrielli, como se observa en la figura 8. Luego, se realizó un desecado durante 12 horas a 45° C para evitar una gelificación no deseada. La mitad del almidón total de la muestra se guardó para los ensayos sucesivos y sobre la otra mitad se realizó el estudio granulométrico para determinar el porcentaje de almidón retenido en tamices marca W.S. Tyler® de 710, 500, 250, 125, 75 y <75 micras (μm); las muestras se realizaron por duplicado.



Figura 8. Molino de tres cilindros, Gabbrielli®.

3. Caracterización química

3.1. Contenido de fibra

Por otro lado, la fibra se midió en el tubérculo crudo desgrasado usando ácido a través de un extractor de fibra marca Velp Scientifica®, modelo FEW. Observar la figura 9.



Figura 9. Extractor de fibra Velp Scientifica®

3.2. Contenido de cenizas

El análisis de residuos inorgánicos se logró realizar a través de una mufla marca Nabertherm®, modelo N 60/HR.

3.3. Contenido de humedad

Por diferencia de pesos se calentó durante 12 horas a 105 hasta un peso constante.

3.4. Contenido de proteína

Este análisis se ha efectuado utilizando un sistema semiautomático mediante el método Kjeldahl, implementando un equipo de marca Velp Scientifica®, modelo DK6.

3.5. Contenido de lípidos

El análisis del porcentaje de grasa se lo realizó mediante un equipo semiautomático, solvente éter de petróleo con un punto de ebullición menor a 70, marca Velp Scientifica®, modelo SER 148.

4. Comportamiento térmico

4.1. Método diferencial de barrido (DSC)

Se utilizó el equipo DSC marca Bonnin Instrument Technology modelo DSC – 800B (ver figura 10), para que la muestra y la referencia se calienten independientemente, por lo que se midió directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Así, los datos se registraron en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) con respecto a la temperatura. La calibración del instrumento se llevó a cabo con un metal de alta pureza de entalpía y punto de fusión conocidos, con un patrón de indio (ΔH fusión = 28.55 J/g; p.f.= 429,8 K). El análisis de cada muestra se realizó por triplicado.

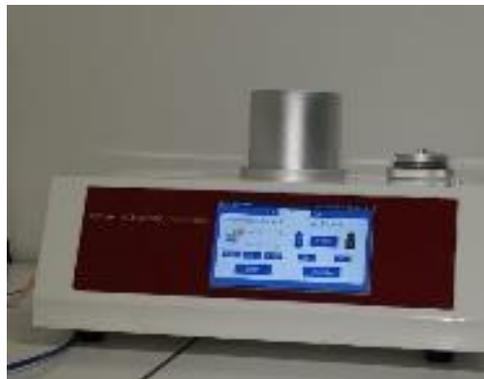


Figura 10. Equipo DSC.

5. Espectroscopia infrarroja

El espectro FT-IR de las muestras de cada fracción de almidón en láminas de pastillas de KBr (15 mg almidón/ 2 g KBr) se registraron utilizando un espectrofotómetro Nicolet IR100, con una resolución de 4 cm^{-1} , tomando en cuenta un rango espectral de $4000\text{-}600\text{ cm}^{-1}$. Asimismo, el Software Omnic 9.0 (Thermo Fisher Scientific Inc., WI, EE. UU.), el cual se utilizó para la corrección de la línea base del espectro y ajustar la curva experimental, ya que los análisis se realizaron por cuadruplicado.

El método utilizado en este proyecto se basó en el estudio de las bandas de absorción entre 1300 cm^{-1} y 800 cm^{-1} , la absorción en esta región se debe a vibraciones en el enlace C-C y C-O que son sensibles a los cambios de la conformación espacial del almidón y por lo tanto la cristalinidad. Entonces, el método calcula el porcentaje de cristalinidad mediante la razón de dos áreas como se indica en la figura 9.

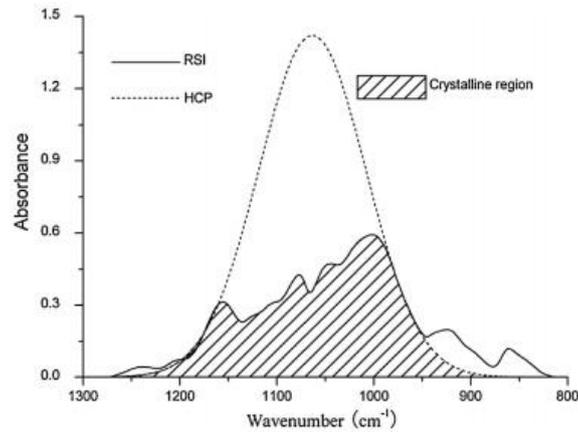


Figura 11. Región del espectro infrarrojo utilizado para la determinación de cristalinidad.
Fuente: Sun, y otros, 2014

El área sombreada de la figura está relacionada con la cristalinidad del almidón y se obtiene directamente del espectro. Mientras que, el área total de la gaussiana sobrepuesta, se obtiene por interpolación a partir de los datos del espectro entre 1200-1150 cm⁻¹ y 1000-950 cm⁻¹. El área de la gaussiana obtenida, representa el área total de absorción de la parte cristalina y la parte amorfa. Por lo tanto, la razón entre el área cristalina y el área total da la fracción son cristales de almidón cristalino.

6. Viscosidad

La viscosidad de la muestra de almidón fraccionada que corresponde a <75 μm se midió usando el Spindle TR8 (ver figura 13). Los ensayos se realizaron haciendo una suspensión al 1% y los datos se obtuvieron a través del viscosímetro rotativo de cilindros concéntricos, marca Fungilab modelo Evo Expert, como se indica en la figura 12.



Figura 12. Viscosímetro Fungilab.



Figura 13. Spindle TR8.

CAPÍTULO II RESULTADOS

1. Caracterización química

Los resultados de los análisis bromatológicos por cada 100 gramos de porción comestible han dado los siguientes valores presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los análisis de la caracterización química.

Humedad (g)	Ceniza (g)	Fibra (g)	Grasa (g)	Proteína (g)
72,2	1,3	0,4	0,1	2,3

1.1. Granulometría del almidón de Papa china

La distribución granulométrica del almidón se presenta en la figura 14.

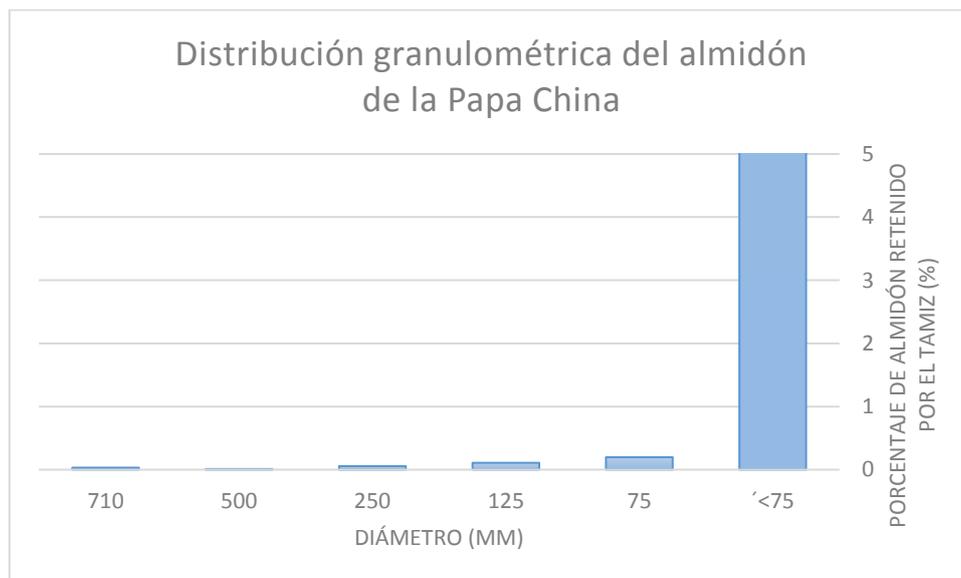


Figura 14. Distribución porcentual de la granulometría del almidón de Papa China.

2. Comportamiento térmico

2.1. Método diferencial de barrido (DSC)

Se ha realizado los siguientes estudios en las siguientes condiciones presentada en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones aplicadas en la Papa china para el Método diferencial de barrido.

Temperatura inicial	30 °C
Temperatura final	120 °C
Rampa	2 °C/min
Referencia p.f. (Indio)	156,65 °C
Referencia ΔH fusión (Indio)	28.55 J/g

Los valores de entalpia para la muestra se obtienen a partir de las áreas unitarias del pico del indio y de la muestra, aplicando la regla de 3 (ver ecuación 1).

Por ejemplo, en el caso los cálculos son los siguientes para almidón de Papa china 2:1 (ver tabla 4).

Tabla 4. Ejemplo del cálculo de la energía de gelificación.

Muestra	Experimental (J/g)	Área unitaria
Indio	28,59	6,83E+03
Papa China Agua 2:1	10,58	2,53E+03

$$Entalpía\ muestra = \frac{28,59 \cdot 2,53 \cdot 10^3}{6,83 \cdot 10^3} = \mathbf{10,58\ J/g} \quad [1]$$

Las muestras han sido realizadas en crisoles de aluminio tapados casi herméticamente con tapa de aluminio. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- a. El comportamiento térmico de la Papa china natural (cruda), se presenta en la figura 15.

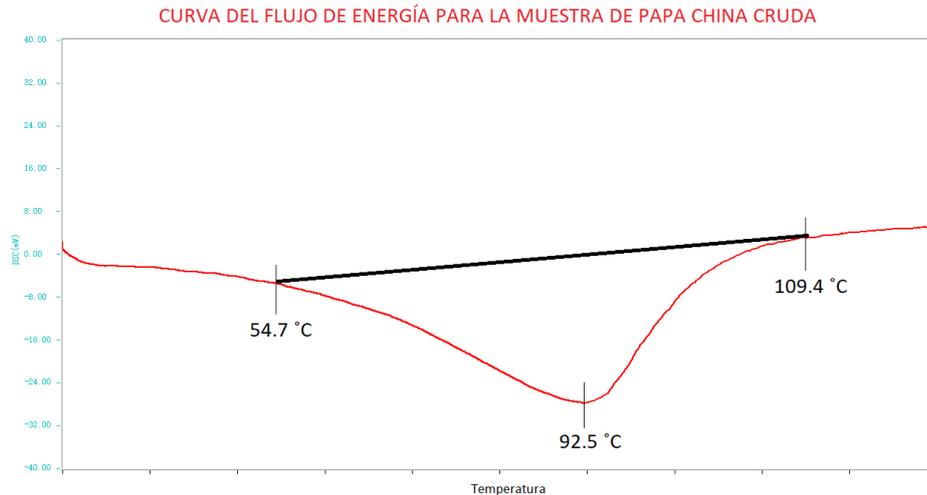


Figura 15. DSC de la Papa China cruda.

Del gráfico se desprende que a 54,7° C inicia la gelificación, que sigue hasta mezclarse con la evaporación del agua y terminar a 104° C. Teniendo dos procesos termodinámicos sobrepuestos, no es posible determinar la entalpía relativa al proceso de una gelificación en estas condiciones.

- b. El comportamiento térmico de la Papa china en aceite 1:2, se presenta en la siguiente figura 16.

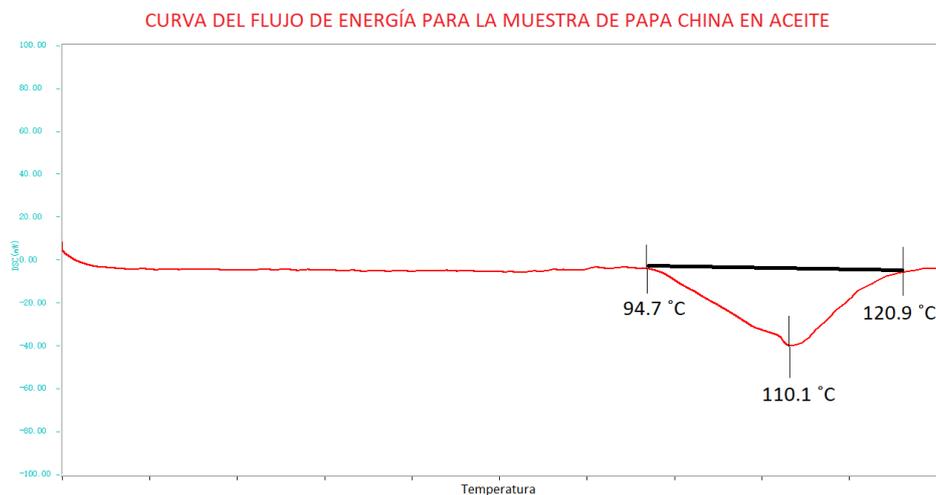


Figura 16. DSC de la Papa China en aceite.

Según la gráfica obtenida se puede observar que prevalece una deshidratación la cual inicia a 94° C, seguida por una fusión del almidón en aceite.

- c. El comportamiento térmico de la Papa china en agua 1:2, se presenta en la siguiente figura 17.

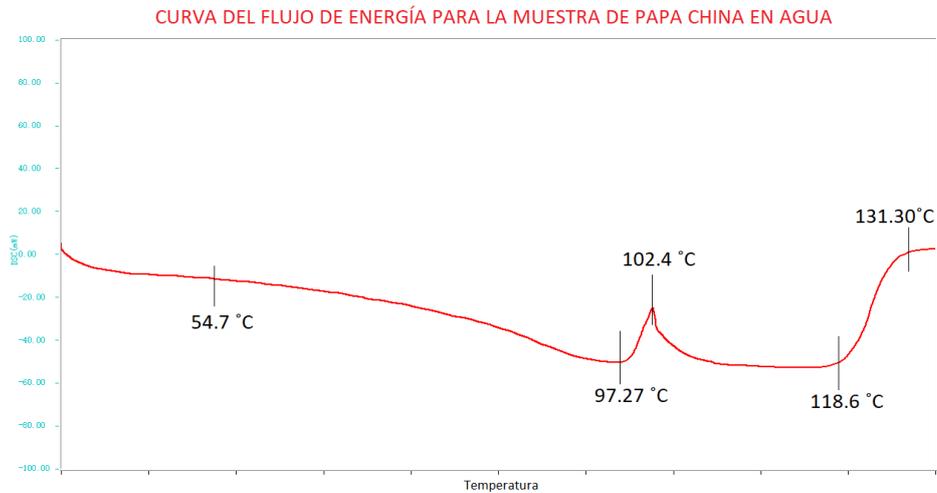


Figura 17. DSC de la Papa China en agua 1:2.

Primera parte (54° C -102° C): en la primera fase, es prácticamente idéntico a la Papa china natural. En donde se ve que inicia la gelificación a 54,7° C y luego con la temperatura más alta se sobrepone el fenómeno de la ebullición del agua.

Segunda parte (102° C – 132° C): esta parte, se lo puede interpretar como una fusión y deshidratación del almidón. En ambos casos, son procesos termodinámicos diferentes sobrepuestos. Por lo tanto, es imposible determinar la entalpía de gelificación y de fusión del almidón de Papa china.

- d. El comportamiento térmico del almidón crudo de la Papa china en agua 1:2, se presenta en la gráfica 18.

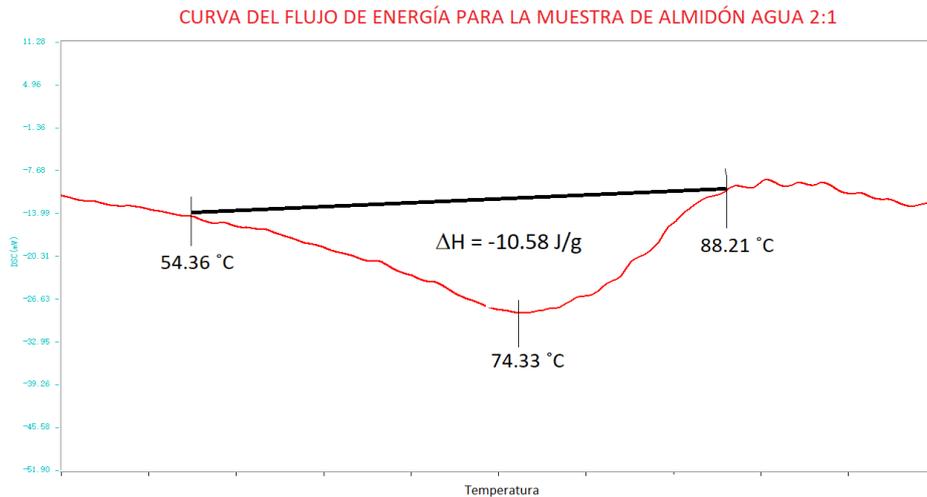


Figura 18. DSC del almidón de Papa China en agua 1:2.

En este caso, el pico de absorción entálpica, termina antes del punto de ebullición del agua. Por lo que, se pudo calcular el valor de la entalpía de la gelificación. Este fenómeno inicia a 54,7° C y tiene un máximo a 74,3° C y termina justamente a 88,2° C, que es una temperatura inferior a la ebullición del agua (93° C a 2600 m de altura). Por lo tanto, se obtuvo una entalpía de gelificación de 10,58 J/g.

3. Espectroscopia infrarroja

3.1. Determinación de la cristalinidad

En la figura 19, se presenta el espectro obtenido del almidón total en la región de 1300 – 800 cm^{-1} :

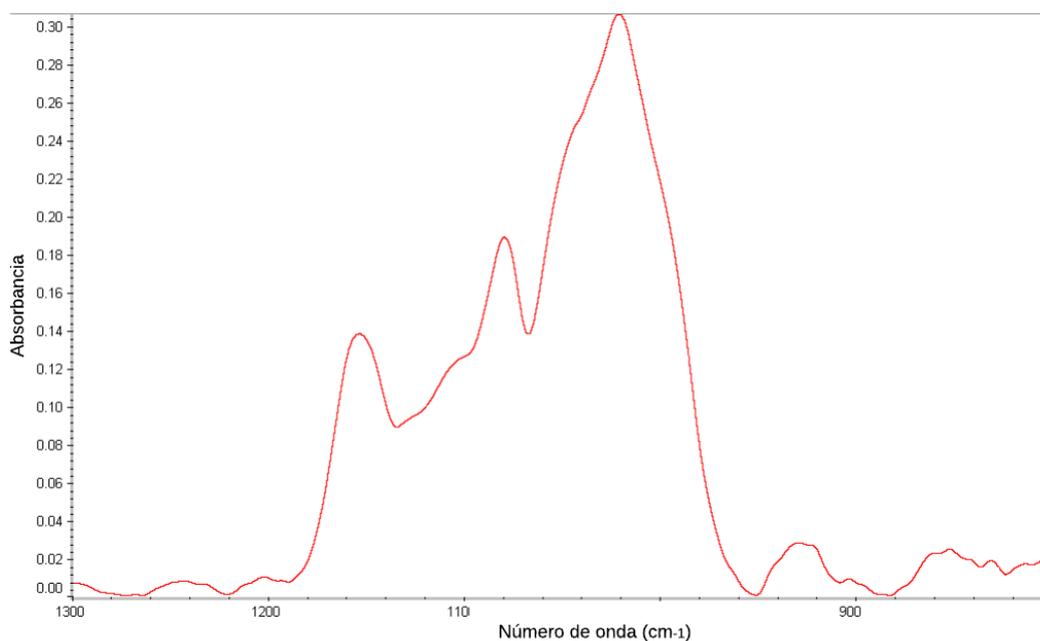


Figura 19. Espectro del almidón de Papa china.

Se ha calculado la cristalinidad de las diferentes fracciones de almidón obtenidas, luego de un desecado a 105°C y se han obtenido los siguientes resultados de la tabla 5.

Tabla 5. Cristalinidad de las diferentes fracciones de almidón de Papa China.

<i>Diámetro</i>	<i>Número de ensayos</i>	<i>Cristalinidad promedio (%)</i>	<i>Varianza</i>
Almidón 710 µm	4	11,95	0,9
Almidón 500 µm	4	21,59	11,45
Almidón 250 µm	4	22,09	17,53
Almidón 125 µm	4	19,34	0,91
Almidón 75 µm	4	21,33	6
Almidón <75 µm	4	25,01	73,58
Almidón inicial	4	27,86	50,61

Para controlar si algún dato es significativamente (95%) diferente de los demás, se ha procedido a aplicar el análisis de la varianza. La tabla de resultados de este procedimiento se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis de la varianza aplicando los datos de cristalinidad.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	594,9	6	99,15	4,31	0,01	2,57
Dentro de los grupos	482,9	21	23			
Total (Σ)=	1077,8	27				

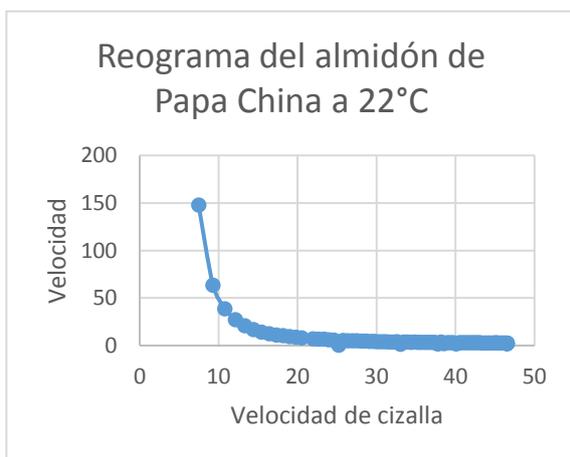
Como la probabilidad de hacer un error de tipo 1 es menor que el error aceptado (0,05), existe al menos un dato diferente que los demás; con el fin de aplicar el test LSD de la mínima diferencia significativa. Por lo tanto, se presenta en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Resumen del test LSD, aplicado luego del análisis de varianza.

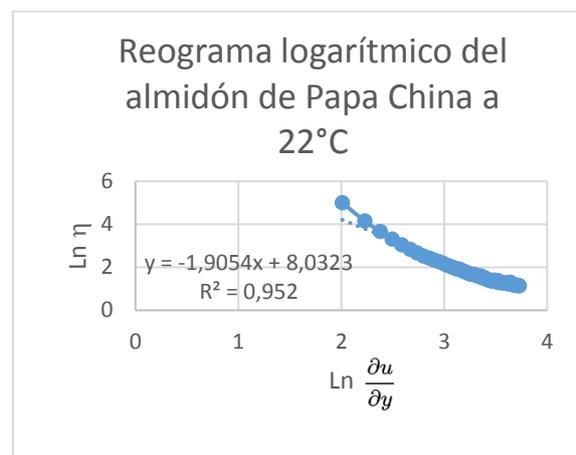
<i>Diámetro</i>	Promedio	Diferencia	Significatividad (95%)
Almidón 710 μm	11,95		
Almidón 500 μm	21,59	0,27	No significativo
Almidón 250 μm	22,09	0,49	No significativo
Almidón 125 μm	19,34	7,38	Significativo
Almidón 75 μm	21,33	1,99	No significativo
Almidón <75 μm	25,01	2,92	No significativo
Almidón inicial	27,86	2,86	No significativo

De la tabla se nota que el almidón a 125 μm tiene una cristalinidad significativamente que los demás. Probablemente porque en la cuarta tamizada obtenida retiene pedacitos de cáscara y por lo tanto es menos cristalina.

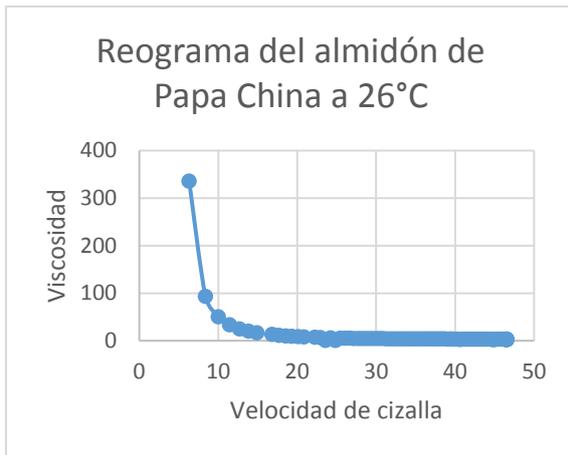
4. Viscosidad



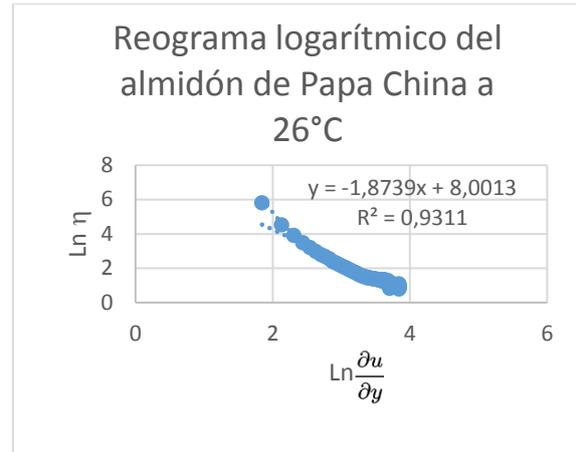
a)



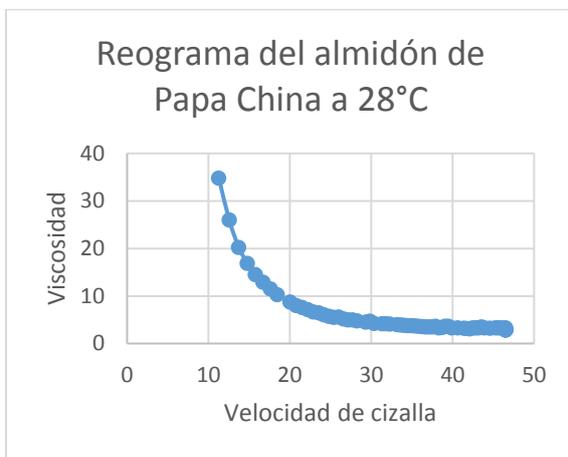
a1)



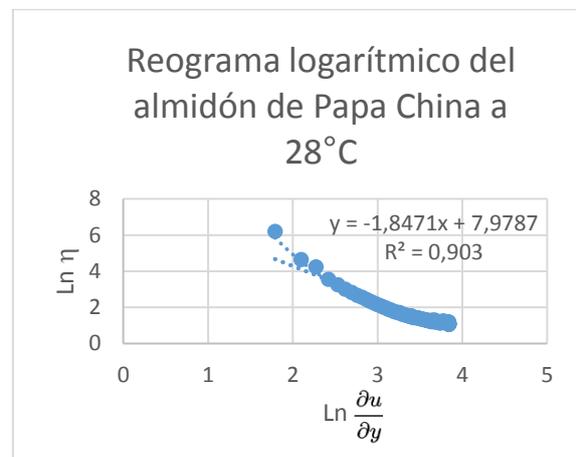
b)



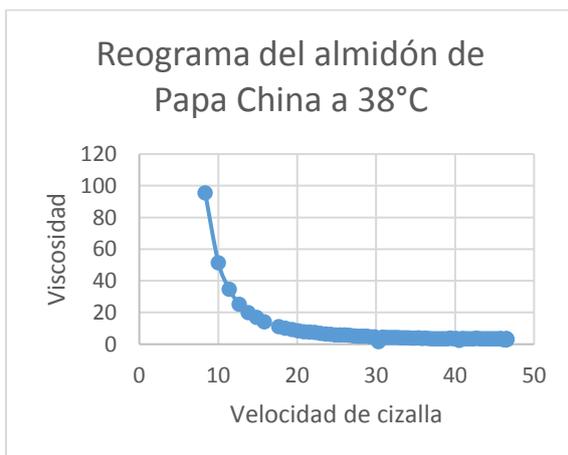
b1)



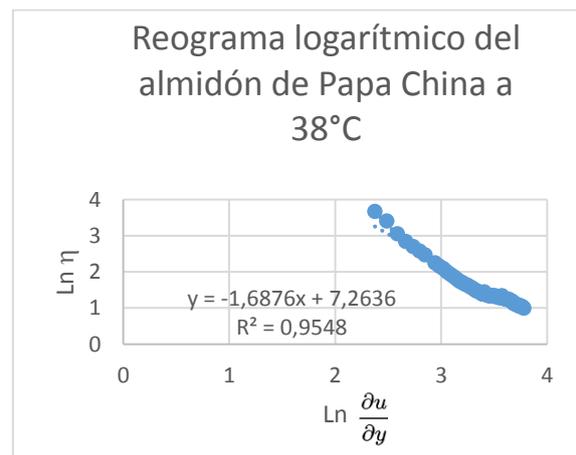
c)



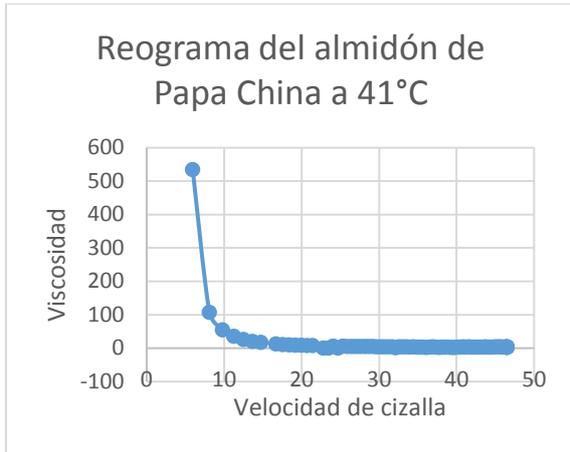
c1)



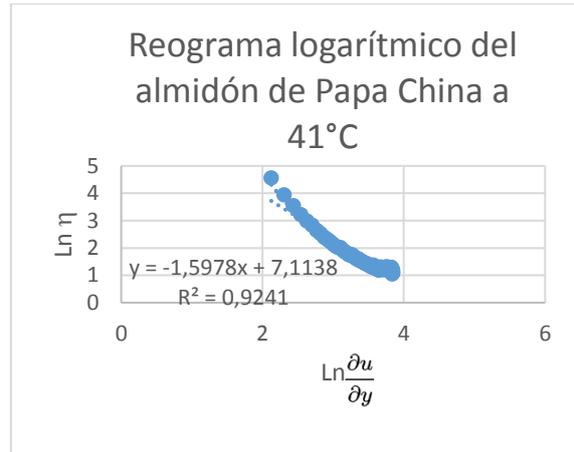
d)



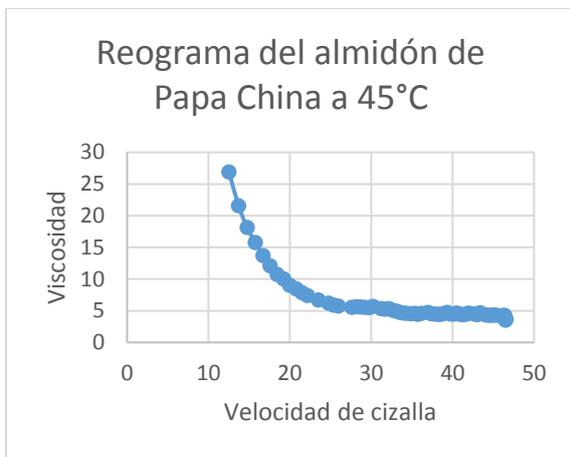
d1)



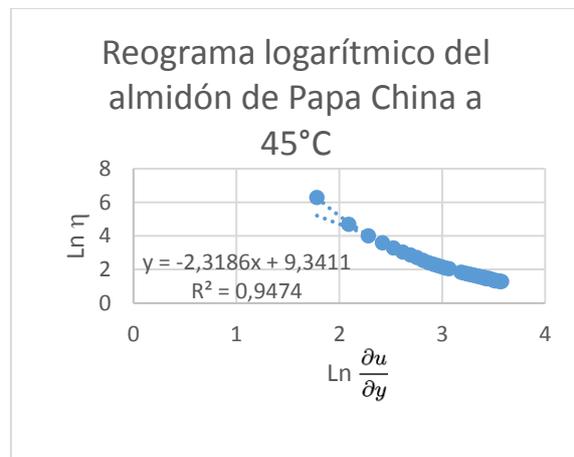
e)



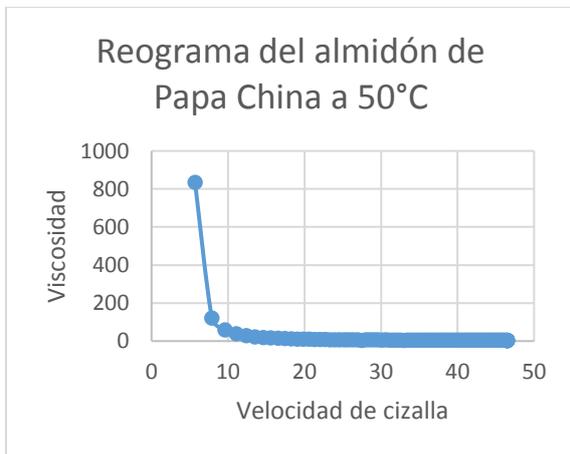
e1)



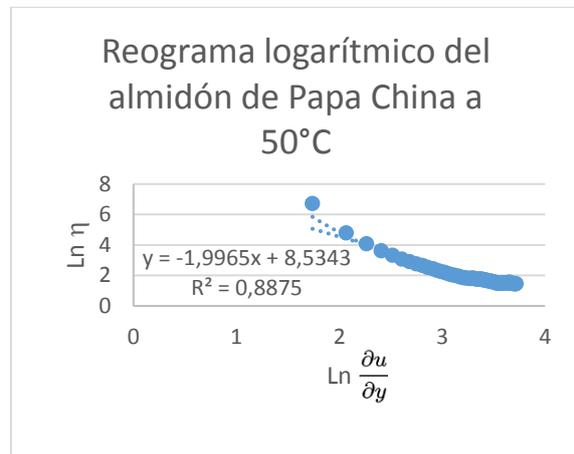
f)



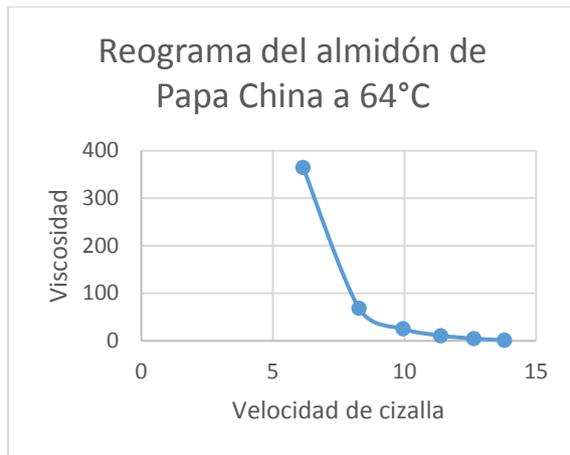
f1)



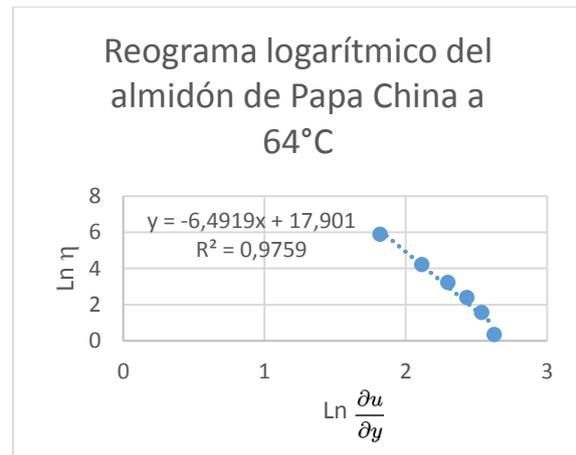
g)



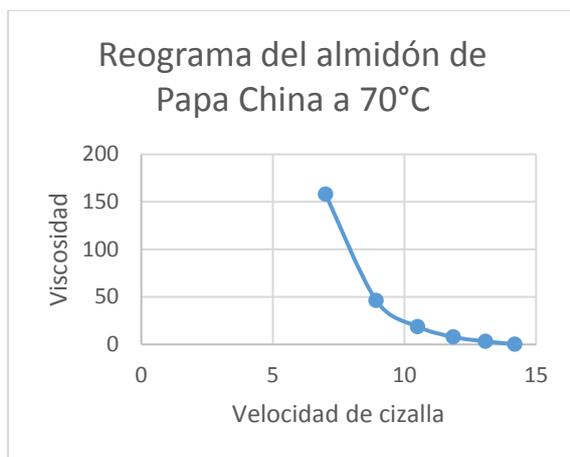
g1)



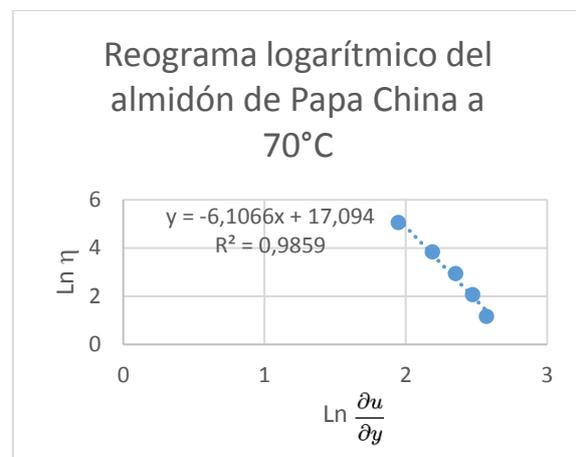
h)



h1)



i)



i1)

Figura 19. Reogramas de las suspensiones al 1% del almidón de Papa China a diferentes temperaturas.

Nota: a) Reograma del almidón de Papa china a 22° C; a1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 22° C; b) Reograma del almidón de Papa china a 26° C; b1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 26° C; c) Reograma del almidón de Papa china a 28° C; c1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 26° C; d) Reograma del almidón de Papa china a 38° C; d1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 38° C; e) Reograma del almidón de Papa china a 41°C; e1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 41° C; f) Reograma del almidón de Papa china a 45 °C; f1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 45° C; g) Reograma del almidón de Papa china a 50° C; g1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 50° C; h) Reograma del almidón de Papa china a 64°C; h1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 64° C; i) Reograma del almidón de Papa china a 70° C; i1) Reograma logarítmico del almidón de Papa china a 70° C.

Después de examinar las gráficas; es decir, los reogramas logarítmicos, estos indican que desde la temperatura de 22° C hasta 50° C [a), a1), b), b1), c), c1), d), d1), e), e1), f), f1)] el comportamiento reológico de la suspensión es de tipo plástico, es decir presenta un umbral de fluencia. Este umbral se debe a las interacciones cohesivas

entre los gránulos de almidón en cuanto a la presencia de grupos OH capaces de formar enlaces de Hidrógeno. A temperaturas más altas de 50° C [g), g1), h), h1), i), i1)] el comportamiento se vuelve pseudoplásticos, es decir desaparece el umbral porque no hay partículas suspendidas y ya se ha formado el gel del almidón. Este límite de gelificación coincide con buena aproximación con el inicio de la gelificación con los diagramas del método diferencial de barrido.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN

- La Papa China, desde el punto de vista bromatológico, es muy parecida a la Papa común (*Solanum tuberosum*), con la excepción de que la Papa común contiene un poco más de ácido ascórbico (vitamina C, ver tabla 1). De todas maneras, desde el punto de vista alimentario, ambas se consumen cocinadas o fritas; la pérdida inicial de ácido ascórbico en cruda no es significativa desde el punto de vista de la alimentación, un estudio realizado en Valencia, España sobre “Análisis de grasas y vitamina C en papas congeladas fritas en diferentes aceites” por (Lencina, y otros, 2012), confirma que la pérdida de vitamina C no solo se debe a la destrucción térmica, sino que además esta se debe a la relación superficie/volumen, es decir, depende del corte y el volumen de la papa.
- El almidón de Papa china presenta una cristalinidad constante desde un diámetro de 500 μm hasta valores más pequeños; la cristalinidad es uniforme según los datos del test LSD (presentados en el capítulo 2). En comparación con el estudio acerca de la “Caracterización física, química y funcional de almidones de tubérculos andinos: oca (*Oxalis tuberosa*), melloco (*Ullucus tuberosus*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*)” por (Valcárcel Yamani, Rondán Sanabria, & Finardi Filho, 2013); la cristalinidad de la fracción más gruesa de la Papa china es menor, debido probablemente a residuos de cáscara que no son cristalinos. En la tabla 8 se presenta la comparación del valor obtenido de la cristalinidad del almidón crudo de la Papa China y de otros tipos de almidones.

Tabla 8. Cristalinidad de diferentes tipos de almidones. a. Autor, b. (Valcárcel Yamani, Rondán Sanabria, & Finardi Filho, 2013)

Tipo de almidón	Cristalinidad (FTIR)
Papa China ^a	28%
Camote ^b	33%
Maíz ^b	32%
Trigo ^b	35%
Yuca ^b	33%
Papa común ^b	37%

El valor de la cristalinidad de la Papa china es inferior, con relación a estudios paralelos sobre las “Propiedades de gelatinización y retrogradación de almidones de tapioca reticulados nativos e hidroxipropilados con adición de sacarosa y cloruro de sodio” por (Thirathumthavorn & Trisuth, 2008) y “Un nuevo método para determinar la cristalinidad relativa del almidón de garbanzo mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier” por (Sun, y otros, 2014); teniendo presente también que los valores presentados en la tabla 9 son valores indicativos porque no está especificado el genotipo de la especie vegetal.

Tabla 9. Temperaturas y cantidad de energía de algunos tipos de almidón. a. Autor, b. (Thirathumthavorn & Trisuth, 2008), c. (Sun, y otros, 2014).

Tipo de almidón	T _o	T _f	ΔH _{gel} (J/g)
Papa China ^a	55° C	120° C	11
Yuca ^b	63° C	82° C	14
Oca ^c	50° C	64° C	9,7
Mellococ ^c	53° C	68° C	10,2
Mashua ^c	52° C	65° C	9,8

- En cuanto al análisis calorimétrico se puede decir que se corrobora con los análisis anteriormente mencionados, ya que la gelificación empieza a una temperatura superior a 50° C la cual indica que los resultados son certeros.

CONCLUSIONES

Realizando una comparación entre la Papa china (*Colocasia esculenta*) y la Papa común (*Solanum tuberosum*), por cada 100 g de porción aprovechable, se pudo observar que presenta valores similares en calorías, humedad, proteína, hidratos de carbono, fibra y minerales a excepción del ácido ascórbico. Gracias a los análisis de evaluación del comportamiento térmico (gelificación), espectroscopia infrarroja (cristalinidad) y viscosidad, se determinó que este estudio es un pie de partida para contribuir con mayor información de la Papa china, ya que posteriormente puede causar un impacto similar al de la Papa común en la industria. Cabe recalcar, que esta investigación proyecta luz sobre algunos aspectos del comportamiento químico físico de la Papa china. Sin embargo, sería interesante que este tubérculo sea estudiado en otros aspectos, los cuales podrían complementar a este estudio para facilitar más información que puede influir en la industria alimentaria y agrónoma en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Agwunobi, L., Angwukam, P., Cora, O., & Isika, M. (2002). Studies on the Use of *Colocasia esculenta* (Taro Cocoyam) in the Diet of Weaned Pigs. *Tropical Animal Health and Production*, 32(3), 241-247. doi:10.1023/a:1015234709538
- Álvarez, A. S., Delgado, M. X., & Reyes, E. O. (2014). *Extracción de almidón de la malanga (colocasia esculenta)*. Tesina para optar por el título de Ingeniero en Alimentos, Universidad José Matías Delgado, Facultad de Agricultura e Investigación agrícola, Antiguo Cuscatlán.
- Angulo-Palma, H. J., y Falcón-Hernández, D. J. (2015). Comportamiento reológico de las emulsiones empleando productos de la pirolisis. *Tecnología Química*, 35(3), 412-423.
- Aparicio, M., Waliszewski, K., y Monroy-Rivera, J. A. (2003). Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), camote (*Ipomeae batata* (L) Lam) y plátano valery (*Musa cavendish*). *Universidad Veracruzana*.
- Armas, F. M. (10 de 09 de 2012). El cultivo de la papa china y pelma: Manual técnico para el pequeño agricultor. Morona Santiago, Ecuador.
- Bruno, R. Lopez, C. (2012). *Adecuación al Método de Espectroscopía Infrarroja en la Identificación de Grasas Trans en Margarina*. Guatemala.
- Bruno, R., & Lopez, C. (2012). *Adecuación del método de espectroscopia Infrarroja en la identificación de grasas trans en margarina*. Guatemala.
- Cuellar, J., Coronado, S. y Arrubla, R. (2011). Diferenciación de especie micobacteriana por ft-ir (espectroscopia infrarroja con transformada de fourier). *Acta Biológica Colombiana*, 16(2).
- El Telégrafo. (09 de 07 de 2013). Papa china busca mercado internacional. *El Telégrafo*.
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2014). Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de raíces y tubérculos andinos. *Raíces y Tuberculos Andinos*.
- Fern, K. (2018). *Tropical Plants Database*. Obtenido de <http://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=colocasia+esculenta>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2010). *FAOSTAT*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 718-726.
- Himeda, M., Njitang, Y. N., Gaiani, C., Nguimbou, R. M., Scher, J., Facho, B., & Mbofung, C. M. (2012). Physicochemical and thermal properties of taro (*Colocasia esculenta* sp) powders as affected by state of maturity and drying method. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1857-1865. doi:10.1007/s13197-012-0697-9
- Höhne G, W. H., Hemminger W, F., & Flammersheim H, -J. (2003). *Differential Scanning Calorimetry*. Springer.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) y Comité Interdepartamental de Nutrición para la Defensa Nacional (ICNND). (1970). *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina*. México: Agencia para el Desarrollo Internacional, Centro Regional de Ayuda Técnica.
- Instituto Nacional de Nutrición. (1965). *Tabla de composición de los alimentos ecuatorianos*. Quito, Ecuador.
- Jewett, E. (2004). *Science illustration & design*.
- Lencina, M. S., Gómez, M. B., Costa, E. R., Abalos, A. R., Frigola, A., & Estevés, M. J. (2012). Análisis de grasas y vitamina C en papas congeladas fritas en diferentes aceites. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-73372012000200005&script=sci_arttext&tIng=pt
- Martín, R., & Jerez, E. (2017). Efecto de las temperaturas en el rendimiento de la papa. *Cultivos Tropicales*, 75-80.
- Osorio, A. Marín, J. y Restrepo, G. (2015). Comportamiento reológico de pulpas de cuarzo a diferentes concentraciones del sólido. *Información tecnológica*, 26(1), 135-142.
- Pardo, O., Castañeda, J., & Ortiz, C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Agroindustria*, 289-295.
- Piqué, T. y Vázquez, A. . (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 3(2), 62-71.

- Poulhazan, A., Arnold, A., Warschawski, D., & Marcotte, I. (2018). Unambiguous Ex Situ and in Cell 2D ¹³C Solid-State NMR Characterization of Starch and Its Constituents. *MDPI*.
- Rodríguez, O. (2013). *Estudio Espectroscópico de la formación de Análogos de Resinas Fósiles*. Madrid.
- Rodríguez, R. (2015). *Diseño de un plan estratégico para mejorar la comercialización de papa china en el sector norte de la ciudad de Guayaquil*. Tesis de grado , Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Sahin, S., & Gulum, S. (2006). *Physical Properties of Foods*. Turkey.
- Sánchez, E., Ortega, M., González, V., Ruelas, G., Kohashi, J., & García, N. (2003). Tolerancia de tubérculos de papa. *Terra Latinoamericana*.
- Sandoval, A. Rodríguez, E y Fernandez, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 72(146).
- Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy; Fundamentals and Applications*.
- Sun, Y., Wu, Z., Hu, B., Wang, W., Ye, H., Sun, Y., . . . Zeng, X. (8 de Agosto de 2014). *Science Direct*. Obtenido de Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714002276#!>
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147-156. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062
- Thirathumthavorn, D., & Trisuth, T. (2008). Gelatinization and Retrogradation Properties of Native and Hydroxypropylated Crosslinked Tapioca Starches with Added Sucrose and Sodium Chloride. *International Journal of Food Properties*.
- Trujillo, J. (2011). <https://www.directopaladar.com>. Obtenido de <https://www.directopaladar.com>: <https://www.directopaladar.com/cultura-gastronomica/breve-historia-de-antoine-augustin-parmentier-y-la-patata>
- Valcárcel Yamani, B., Rondán Sanabria, G., & Finardi Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*.
- Venkataraj, K., & Suresh, S. (2018). Experimental study on the thermal storage performance and non-isothermal crystallization kinetics of pentaerythritol. *Thermochimica Acta*.

Wagner, W., Herbst, D., & Sohmer, S. (1999). *Manual of the Flowering Plants of Hawaii. Revisited edition* (Vol. 2).