

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



EFFECTO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE TRATAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) MODIFICADO (HMT) var. COLPARINA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

YULI CAROLINA CHOLAN QUISPE

TRUJILLO, PERÚ

2017

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:

Ing. Dr. Antonio Rodríguez Zevallos

PRESIDENTE

Ing. Dr. José Soriano Colchado

SECRETARIO

Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna

VOCAL

Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui

ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la sabiduría y paciencia para lograr la meta trazada.

A mis padres, Betty y Miguel por el inmenso amor y apoyo incondicional brindado para seguir siempre adelante haciendo realidad cada objetivo de mi vida.

A mi familia y amistades en general por estar presentes en cada momento de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la sabiduría, fortaleza y seguridad de que toda meta puesta en su fe se logra cumplir en el tiempo que amerite.

A mis padres, Betty y Miguel, por brindarme su apoyo en cada momento y hacerme sentir el amor de ellos y así continuar con todo lo propuesto en mi vida.

A mi asesora, la Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui, quien gracias a su amplia experiencia y conocimiento supo brindarme todo lo necesario para poder hacer realidad y culminar de forma confiada el desarrollo de la tesis.

A los miembros del jurado Ing. Dr. Antonio Rodríguez Zevallos, Ing. Dr. José Soriano Colchado y la Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna, por el apoyo en cuanto a cada observación que hicieron para mejorar el desarrollo de la tesis.

Al equipo de laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo, Universidad Privada Antenor Orrego y Universidad Nacional Agraria La Molina.

Un agradecimiento especial a mis amistades Sandra y Vanessa por haberme brindado su apoyo en el proceso práctico del desarrollo de mi tesis; Helen, Gustavo, Nancy y César y a mi prima Shirlee porque estuvieron en todo momento alentándome para continuar esforzándome y seguir emprendiendo y continuar con todo lo propuesto.

INDICE

	Pág.
CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA	3
2.1. Generalidades	3
2.2. Variedades de papa	3
2.3. Industrialización de la papa	5
2.4. Almidón de papa.....	5
2.4.1. Propiedades funcionales	7
2.4.2. Propiedades térmicas.....	8
2.5. Almidones modificados.....	9
2.5.1. Almidón pre gelatinizado	10
2.5.2. Almidón tratado con calor húmedo (HMT).....	12
2.5.3. Almidón Recocido (ANN).....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14

3.1. Lugar de ejecución	14
3.2. Materiales y equipos	14
3.3. Método experimental de la investigación en almidón de papa	15
3.3.1. Esquema experimental de la investigación en almidón de papa.....	15
3.3.2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón nativo	17
3.3.3. Elaboración del almidón modificado (HMT)	20
3.4. Métodos de análisis	20
3.4.1. Tamaño de los gránulos	20
3.4.2. Poder de hinchamiento y solubilidad	21
3.4.3. Temperatura y entalpía de gelatinización	21
3.4.4. Grado de gelatinización	22
3.5. Análisis estadístico	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Almidón nativo de papa nativa variedad Colparina.....	23
4.1.1. Características físicas.....	23
4.1.2. Propiedades térmicas.....	24
4.2. Almidón modificado tipo HMT de papa nativa variedad colparina	25
4.2.1. Características físicas.....	25
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. RECOMENDACIONES	50
VII. BIBLIOGRAFÍA	51
VIII. ANEXOS	56

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Variedades comerciales de papa en el Perú.....	4
Cuadro 2. Codificación de los tratamientos evaluados.....	17
Cuadro 3. Prueba de Levene modificada para valores de tamaño de gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	27
Cuadro 4. Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	27
Cuadro 5. Prueba de duncan para valores de tamaño de gránulo.....	28
Cuadro 6. Prueba de Levene modificada para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	33
Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	34
Cuadro 8. Análisis de varianza para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	34
Cuadro 9. Prueba de Duncan para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	35
Cuadro 10. Prueba de Duncan para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	36

Cuadro 11.	Prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina	40
Cuadro 12.	Análisis de varianza para valores de propiedades térmicas de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	41
Cuadro 13.	Prueba de Duncan para valores de temperatura inicial de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	42
Cuadro 14.	Prueba de Duncan para valores de temperatura pico de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	43
Cuadro 15.	Prueba de Duncan para valores de temperatura final de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	43
Cuadro 16.	Prueba de Duncan para valores de entalpía de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	44
Cuadro 17.	Prueba de Levene modificada para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	46
Cuadro 18.	Análisis de varianza para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	46
Cuadro 19.	Prueba de Duncan para valores de grado de gelatinización	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.	
Esquema experimental de las características físicas y propiedades térmicas del almidón de papa modificado (HMT).....	16
Figura 2	
Diagrama de flujo para la elaboración de almidón de papa	18
Figura 3.	
Tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	26
Figura 4.	
Poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	30
Figura 5.	
Solubilidad de almidón de papa (HMT) variedad Colparina.....	32
Figura 6.	
Temperatura inicial de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).....	37
Figura 7.	
Temperatura pico de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).....	38
Figura 8.	
Temperatura final de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).....	38
Figura 9.	
Entalpía de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).....	39
Figura 10.	
Grado de gelatinización del almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Forma y tamaño del granulo de almidón nativo.....	57
Anexo 2. Forma y tamaño de los gránulos de almidón modificado.	58
Anexo 3. Datos de Tamaño de los gránulos de almidón nativo y modificado	67
Anexo 4. Solubilidad y poder de hinchamiento de almidón nativo y modificado.....	68
Anexo 5. Propiedades térmicas del almidón nativo y modificado.....	70
Anexo 6. Medición de la entalpia mediante el Termograma con el software NanoAnalyze (TA Instruments, New Castle, DE, USA).....	72

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del porcentaje de humedad y la temperatura de tratamiento en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad) y propiedades térmicas (temperatura y entalpía de gelatinización, porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado. Para elaborar las muestras de almidón modificado (HMT) se ajustó el contenido de humedad del almidón nativo al nivel deseado (20%, 30% y 40%). Posteriormente, las muestras de almidón se colocaron en frascos de vidrio de 250 mL y se calentaron a 100, 110 y 120 °C durante 8 h, luego se envasaron en frascos de vidrio de 250 mL y se almacenaron a temperatura ambiente para su posterior análisis. El almidón nativo se utilizó como un control. El análisis estadístico informó que el porcentaje de humedad (20, 30 y 40 % p/p) y la temperatura de tratamiento (100, 110 y 120 °C) tuvieron efecto significativo en el tamaño del gránulo, poder de hinchamiento y propiedades térmicas (temperatura, entalpía y porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina. El tratamiento T9 de modificación de almidón HMT (40%; 120 °C) presentó menor poder de hinchamiento y solubilidad, mayor valor de temperatura inicial, pico y final de gelatinización, menor entalpía y mayor grado de gelatinización, por lo que podría recomendarse su aplicación en la formulación de alimentos envasados, congelados, fideos y productos de panificación, como extensor de grasa, para aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos o para preparar películas biodegradables.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of moisture percentage and treatment temperature on the physical characteristics (granule size, swelling power and solubility) and thermal properties (gelatinization temperature and enthalpy, percentage of gelatinization) of modified potato starch. To prepare the modified starch samples (HMT), the moisture content of the native starch was adjusted to the desired level (20%, 30% and 40%). The starch samples were then placed in 250 mL glass vials and heated to 100, 110 and 120 ° C for 8 h, then packed in 250 mL glass vials and stored at room temperature for further analysis. Native starch was used as a control. Statistical analysis reported that the percentage of moisture (20, 30 and 40% w / w) and the treatment temperature (100, 110 and 120 ° C) had a significant effect on the size of the granule, swelling power and termic properties (temperature, enthalpy and percentage of gelatinization) of modified potato starch (HMT) Colparina variety. The T9 treatment of HMT starch modification (40%, 120 °C) showed lower swelling and solubility, higher initial , peak and final gelatinization temperature of , lower enthalpy and higher gelatinization grade, and therefore its application in the formulation of packaged, frozen, noodles and bakery products, such as fat extender, to increase the dietary fiber content of foods or to prepare biodegradable films.

I. INTRODUCCIÓN

En la sierra liberteña, 436 mil toneladas de papa se producen al año y la provincia de Sánchez Carrión ocupa el primer lugar con una producción de 120 mil toneladas, ocupando el 27.6% de la producción en toda la región La Libertad, con un total de 29370 productores los que se dedican a esta actividad. Entre las variedades de papa que cultivan a mayor escala, destacan la Amarilis, Canchán, Colparina y Yungay (News Trujillo, 2016).

Dentro de La Región La Libertad, Chugay, distrito de la provincia de Sánchez Carrión, es uno de los lugares del norte del país que ostenta una alta diversidad genética de papa, siendo identificadas por el INIA 130 variedades, muchas de ellas, con potencial para su consumo, industrialización e investigación (INIA, 2016).

Uno de los productos derivados de la industrialización de la papa es el almidón nativo, ampliamente utilizado en alimentos y aplicaciones industriales como espesante, estabilizante, gelificante, agente de volumen y agente de retención de agua. Sin embargo, los almidones nativos presentan algunas desventajas para aplicaciones industriales, tales como insolubilidad en agua fría, pérdida de viscosidad y poder de espesamiento después de la cocción. Además, presentan retrogradación originando sinéresis o separación de agua en diferentes sistemas alimentarios (Xie y otros, 2005). Sin embargo, estas desventajas del almidón nativo podrían superarse realizando una modificación de la estructura del almidón por vía química, aunque también existe un gran interés en el uso de técnicas de modificación física tales como el recocado (ANN) y el tratamiento con calor húmedo (HMT) (Jayakody y Hoover, 2008).

Las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa modificado deben ser conocidas para sugerir posibles aplicaciones y emplearlos en la industria alimentaria y así dar un valor agregado a la papa, variedad Colparina, lo que representaría un mayor ingreso para la región.

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto del porcentaje de humedad (20, 30 y 40%) y de la temperatura de tratamiento (100, 110 y 120 °C) en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad) y propiedades térmicas (temperatura y entalpía de gelatinización, porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina?

Los objetivos propuestos para esta investigación fueron los siguientes:

Evaluar el efecto del porcentaje de humedad (20, 30 y 40%) y de la temperatura de tratamiento (100, 110 y 120 °C) en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad) y propiedades térmicas (temperatura y entalpía de gelatinización, porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT).

Determinar el porcentaje de humedad y la temperatura de tratamiento que permita obtener las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad) y propiedades térmicas (temperatura y entalpía de gelatinización, porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT) más adecuadas.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Generalidades

La papa pertenece a la familia Solanaceae y es el cuarto principal producto alimenticio en el mundo, después del trigo, el arroz y el maíz. Una papa de tamaño mediano contiene alrededor de la mitad de los requerimientos diarios de vitamina C de una persona adulta. Otros cultivos de primera necesidad como el arroz o el trigo no poseen este elemento. La papa es muy baja en grasa, con sólo el 5% del contenido de grasa del trigo y una cuarta parte de las calorías del pan. La papa se cultiva en 19 departamentos del Perú, desde el nivel del mar hasta los 4,100 metros de altura y constituye la base de la alimentación del poblador especialmente de la sierra (Ministerio de Agricultura, 2012).

La papa es fuente de almidón, uno de los polisacáridos más importantes y ampliamente utilizados en la industria alimentaria. Sin embargo, su baja resistencia a las condiciones utilizadas en el procesamiento moderno de alimentos han limitado su uso (Tharanathan, 2005).

2.2. Variedades de papa

Durante mucho tiempo el principal objetivo de los investigadores en papa ha sido el de seleccionar variedades de mayor productividad a través de cruzamientos dirigidos así como producir las variedades comerciales (Cuadro 1). Muchas de estas variedades han tenido un éxito temporal, requiriendo inversiones altas en insumos, sobre todo de fertilizantes químicos para mantener los altos rendimientos. Sin embargo, debido a las variaciones climáticas locales, no todas se

adaptan a las diferentes condiciones agroecológicas de los Andes (Tapia y Fries, 2007).

Cuadro 1. Variedades comerciales de papa en el Perú

Nombre	Lugar y fecha de selección
Ticahuasi	EE Cañete, 1966
Tomasa Tito Condemayta	Nieves, 1970
Yungay	1970
Mariwa	La Molina, 1973
Revolución La Molina	1973
Huancayo	Santa Ana, 1973
Andina	EE Illpa, Puno, 1976
Molinera	EE Baños del Inca, 1977
Amapola	Cutervo, Cajamarca, 1977 (no oficialmente liberada)
Liberteña	EE Chota Motil, La Libertad, 1977
Valicha	EE Andenes, Cusco, 1981
Cica UNSAAC, Cusco, 1982	UNSAAC, Cusco, 1982
Chaska EE Andenes, Cusco, 1982	EE Andenes, Cusco, 1982
Perricholi	EE Canchán, Huanuco, 1982
Maria Huanca	EE Chota Motil, La Libertad y EE. Santa Ana Huancayo, 1987
Canchan INIA	EE Canchan, Huánuco, 1990
Amarilis INIA	EE Canchan, Huánuco, 1993
Kori INIA	Cooperativa Atahuallpa, Porcón, Cajamarca, 1993

Fuente: Tapia y Fries (2007).

2.3. Industrialización de la papa

El Perú en esta última década ha incrementado su porcentaje de procesamiento de papa desde el 5% al 8%, debido principalmente a una mayor demanda por los consumidores de papa procesada en forma de hojuelas de papas fritas, papas peladas y cortadas para pollerías y a la exportación de chuño blanco y papa seca, que se inició en el primer trimestre del 2004. Otro producto procesado importante es el almidón, cuya industrialización necesita una inversión de por lo menos 2 millones de dólares que solo puede ser conseguida a través de la inversión privada extranjera. La harina de papa cocida y deshidratada, es una alternativa que puede ser usada en mezcla con otras harinas de leguminosas y menestras, orientado a programas sociales de desayunos escolares, comedores populares y vaso de leche. Esta es una alternativa que no se ha promovido mucho y que tiene muchas posibilidades de desarrollo, a través del uso de tecnologías intermedias que son accesibles a empresarios de mediano nivel económico (Ministerio de Agricultura, 2012).

2.4. Almidón de papa

El almidón es el componente principal de los tubérculos de papa, que asciende a aproximadamente el 15-20% de su peso y se considera un factor importante en su uso en aplicaciones alimentarias. Para aplicaciones industriales, el almidón de papa presenta propiedades únicas que se atribuyen directamente a su estructura granular y molecular, incluyendo gránulos muy grandes y lisos, alto contenido de fosfato ligado covalentemente a las cadenas de amilopectina y la amilosa de alto peso molecular. Estas características hacen que el almidón de papa sea una enorme fuente de biopolímero funcional

para la alimentación y la ciencia de materiales (Bertoft y Blennow, 2016).

En comparación con la mayoría almidones de cereales, la estructura bien ordenada y densidad del gránulo de almidón nativo de papa lo hace resistente a la degradación por enzimas hidrolíticas tales como amiloglucosidasas y α -amilasas (Sun y otros, 2006).

La morfología de gránulo de almidón varía con genotipo de la planta y las prácticas culturales. También depende de la bioquímica del cloroplasto/amiloplasto y la fisiología de la planta. Cuando se observa bajo un microscopio, los gránulos de almidón de papa difieren en tamaño y forma de los almidones de cereales. El tamaño de gránulo difiere considerablemente entre almidones y varía de 1 a 110 micras siendo el rango promedio de tamaño de 1 a 20 micras para los gránulos pequeños y de 20 a 110 micras para los grandes (Bertoft y Blennow, 2016).

Los gránulos pequeños son esféricos u ovalados, pero los más grandes son generalmente elipsoidales, paralelepípedo o de forma irregular. Esta variación en la forma con el tamaño de los gránulos podría estar relacionado con el embalaje del gránulo durante el crecimiento de los órganos de almacenamiento. El espacio limitado disponible en las células de tubérculo puede conducir a una alteración en la forma del gránulo durante el crecimiento (Bertoft y Blennow, 2016).

La amilopectina es el componente principal de los almidones en general, y en el de papa normalmente constituye el 70-80% independientemente del tamaño de los gránulos. Aproximadamente el 4-6% de los enlaces, son del tipo (1,6) α -D-, por lo que es ampliamente ramificado y su peso molecular promedio es del orden

de 107 Da. El componente menor del almidón es amilosa y es considerablemente más pequeña que la amilopectina y esencialmente es un polímero lineal (Bertoft y Blennow, 2016).

2.4.1. Propiedades funcionales

Poder de hinchamiento y solubilidad

Cuando las moléculas de almidón se calientan en exceso de agua, su estructura cristalina se interrumpe y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestos de las cadenas de amilosa y amilopectina, lo que provoca un aumento en la solubilidad e hinchazón de los gránulos. El poder de hinchamiento y solubilidad proporcionan una evidencia de la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfos y cristalinos. El alcance de esta interacción se ve influenciada por las características y relación de amilosa/amilopectina en términos de peso molecular, grado de distribución y conformación de las ramificaciones (Vamadevan y Bertoft, 2015).

El almidón de papa presenta más alto poder de hinchamiento que el almidón de cereales. Los gránulos de almidón de maíz y trigo pueden hincharse hasta 30 veces su volumen original y los gránulos de almidón de papa hasta 100 veces sin desintegrarse. El mayor poder de hinchamiento y mayor solubilidad del almidón de papa es probablemente debido a la presencia de un gran número de grupos fosfato en la molécula de amilopectina. La repulsión entre los grupos fosfato de cadenas adyacentes aumenta la hidratación por el debilitamiento de la unión dentro del dominio cristalino. Sin embargo, los gránulos pequeños muestran una mayor hidratación que los

grandes, debido principalmente a su mayor área de superficial (Bertoft y Blennow, 2016).

Las diferencias en el comportamiento de hinchamiento y solubilidad de los almidones entre fuentes botánicas y entre los cultivares de cualquier fuente botánica son causadas por las diferencias del contenido de amilosa y lípidos, así como la organización del gránulo. La amilosa juega un papel importante en la hinchazón inicial de los gránulos, la cual se realiza más rápidamente después de que la amilosa ha sido lixiviada. El aumento de la solubilidad del almidón, con el aumento concomitante en la claridad de suspensión, se observa principalmente como resultado de la hinchazón de los gránulos, lo que permite la exudación de la amilosa. Los gránulos se convierten cada vez más susceptibles a la cizalla y a la desintegración, se hinchan y liberan el material soluble a medida que se desintegran. La pasta de almidón caliente es una mezcla de gránulos hinchados y fragmentos de gránulos, dispersados en una solución coloidal (Bertoft y Blennow, 2016).

2.4.2. Propiedades térmicas

El orden cristalino en gránulos de almidón es a menudo el factor básico subyacente que influye en sus propiedades funcionales. El colapso del orden cristalino dentro de los gránulos de almidón se manifiesta como cambios irreversibles en propiedades tales como hinchazón de gránulo, formación de pasta, pérdida de birrefringencia óptica, pérdida del orden cristalino, desenrollado y la disociación de las dobles hélices y solubilidad del almidón. El fenómeno de gelatinización se inicia en el hilio del gránulo y se hincha rápidamente a la periferia. La gelatinización se produce inicialmente en las regiones amorfas en contraposición a las regiones cristalinas de los gránulos, debido a que los enlaces de

hidrógeno se debilitan en estas áreas. Las transiciones de orden-desorden que se producen en el calentamiento de una suspensión acuosa de gránulos de almidón se han investigado extensamente con el calorímetro de barrido (DSC). Las temperaturas de gelatinización del almidón (inicio, T_i ; pico, T_p ; final, T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH_{gel}) medida por DSC se relacionan con el grado de cristalinidad (Singh y otros, 2003).

La temperatura de inicio refleja el inicio del proceso de gelatinización, que es seguido de un pico de temperatura y la temperatura final. Después de T_f , todas las dobles hélices de amilopectina están dissociadas, aunque las estructuras granulares hinchadas serán retenidos hasta que la temperatura más intensa y el cizallamiento sean aplicadas (Tester y Debón, 2000). Un alto grado de cristalinidad proporciona estabilidad estructural y hace que el gránulo sea más resistente a la gelatinización, lo que se traduce en temperaturas de transición más altas (Singh y otros, 2016).

2.5. Almidones modificados

Los almidones nativos tienen limitaciones de uso ya que son sensibles al pH, a la temperatura y a los esfuerzos de corte extremos; otra desventaja es que son poco solubles. Para mejorar sus características y diversificar sus aplicaciones, los almidones pueden modificarse por diversos tratamientos. La modificación produce una alteración en una o más de las propiedades físicas, químicas o estructurales del almidón, debido a la incorporación de un componente ajeno a su estructura, o a su degradación controlada por una modificación ácida. Sin embargo, estas deficiencias del almidón nativo podrían superarse, por ejemplo, mediante la modificación de su estructura mediante métodos físicos, químicos y biotecnológicos (Xie y otros, 2005).

Los métodos de modificación físicos implican el tratamiento de gránulos de almidón nativo en diferentes combinaciones de temperatura/humedad, presión, corte, y la irradiación, incluyendo también la fricción mecánica para alterar el tamaño físico de los gránulos de almidón (Xie y otros, 2005).

La modificación química involucra tratamiento con ácido, la reticulación, oxidación, y la sustitución, incluyendo esterificación y eterificación del almidón. El desarrollo de la biotecnología proporciona otro medio de modificación del almidón durante el crecimiento de la planta. Diferentes niveles de amilosa, amilopectina y contenido de fósforo pueden producirse usando reducción de la actividad enzimática de una o múltiples enzimas (Xie y otros, 2005).

Xie y otros (2005) indican que la modificación física del almidón se puede aplicar solo o con reacciones químicas para cambiar la estructura granular y convertir el almidón nativo soluble en agua fría almidón o en pequeños cristales (diámetro <5 micras), empleados como sustitutos de grasa.

2.5.1. Almidón pre gelatinizado

a) Procedimiento de preparación

El almidón pre gelatinizado puede ser producido por cocción, pulverización, secado en tambor, tratamiento con disolventes y extrusión. Durante el proceso de cocción por aspersion, una suspensión de almidón entra a través de una boquilla especial y es atomizado (rociado fino) en una cámara. Al mismo tiempo, el vapor caliente es inyectado en la cámara a través de una segunda boquilla para cocinar el almidón. Este método es particularmente útil en la producción de un almidón gelatinizado de manera uniforme con mínimo cizallamiento y daño por calor. También puede elaborarse

por el método de secado en tambor, en el que una lámina de almidón cocido se produce a partir de una suspensión de almidón en un tambor caliente; el almidón se muele después de secar al tamaño de partícula deseado. Por el método basado en disolvente, 20% de almidón en alcohol acuoso (20 a 30% de agua) se calienta entre 160 a 175 °C durante de 2 a 5 min. A diferencia del almidón secado por tambor o extruido, el producto final por método basado en disolvente mantiene la integridad granular, pero pierde su birrefringencia (Xie y otros, 2005).

b) Propiedades

La propiedad más importante de almidón pre gelatinizado es que al instante hidrata y se hincha en agua a temperatura ambiente. Sin embargo, finamente molido, productos de almidones pre gelatinizados son difíciles de dispersar homogéneamente en agua ya que hidratan rápidamente en contacto con el agua y forman grumos u ojos de pescado. La velocidad de hidratación puede ser frenada por la pre mezcla de almidones pre gelatinizados con otros ingredientes (Xie y otros, 2005).

c) Aplicaciones

El almidón pre gelatinizado se utiliza como un agente espesante para rellenos de pasteles, budines, salsas y alimentos para bebés. Los almidones que generan una textura pastosa se utilizan para modificar la textura de sopas, salsas de carne, y salsas (Xie y otros, 2005).

2.5.2. Almidón tratado con calor húmedo (HMT)

a) Definición y preparación

El tratamiento con calor húmedo del almidón es un tratamiento físico en el cual almidones son tratados a diferentes niveles de humedad (<35%) durante un cierto periodo de tiempo a una temperatura por debajo de la temperatura de gelatinización. Sin embargo, la temperatura se elige a menudo sin tener en cuenta la temperatura de gelatinización (Klein y otros, 2013).

b) Propiedades

El tratamiento con calor húmedo de almidones de maíz, el trigo, ñame, lenteja y papa no tiene efecto sobre la forma y el tamaño de los gránulos. Sin embargo, los patrones de dispersión de rayos X de ángulo ancho se alteran de tipo A a B (ó C) y normalmente aumenta la temperatura de gelatinización, amplía el rango de temperatura de gelatinización y disminuye el poder de hinchamiento, así como la entalpía de gelatinización (ΔH_{gel}). El tratamiento con calor húmedo también disminuye la susceptibilidad de almidones de maíz y guisantes a la hidrólisis ácida. El impacto del tratamiento con calor húmedo en la hidrólisis enzimática de almidón varía dependiendo de origen botánico y condiciones de tratamiento (Klein y otros, 2013).

c) Aplicaciones

El almidón de papa tratado con calor húmedo puede ser usado para reemplazar el almidón de maíz y para mejorar la calidad de la cocción. El almidón de yuca tratado exhibe excelente estabilidad de congelación-descongelación y podría ser utilizado en

el relleno para tartas con buena propiedades organolépticas (Klein y otros, 2013).

2.5.3. Almidón Recocido (ANN)

a) Definición y preparación

El almidón recocido se obtiene por incubación del almidón en exceso de agua (> 60% w/w) o contenido de agua intermedio (40 a 55% w/w) a una temperatura entre la temperatura de transición vítrea y la temperatura de gelatinización durante un cierto período de tiempo. Este proceso aumenta la temperatura de gelatinización del almidón (Hang y otros., 2015).

b) Propiedades

Este tratamiento modifica las propiedades fisicoquímicas del almidón sin la destrucción de la estructura del gránulo, eleva la temperatura de gelatinización del almidón, disminuye el rango de gelatinización y reduce el poder de hinchamiento, afecta el grado de susceptibilidad del almidón a la hidrólisis ácida y enzimática y la susceptibilidad varía con diferentes fuentes de almidón (Hang y otros, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Este proyecto se realizó en el Laboratorio de Ciencia de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego y en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. Materiales y equipos

Papa (30 kg) variedad Colparina procedente del distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad

Tamiz N° 140 (serie ASTM) de abertura de malla 106 μm

Campana de Desecación

Bisulfito de sodio Merck.

Balanza analítica. Marca AND, modelo GR-200, Capac. 210 g aprox. 0.0001 g.

Baño María. Marca MEMMERT, modelo WB14, Rango +10°C a +100°C, precisión +0.1 – 1°C.

Centrífuga. Marca HERAEUS SEPATECH, modelo Labofuga 200, rango 100-530 rpm. Capac. 12 tubos x 15 mL.

Licuada industrial marca Metal Mecánica Agroindustria. Velocidad 500 rpm.

Agitador Magnetic Stirrer MMS-3000. Marca Boeco, Germany.

Estufa. Marca MEMMERT, modelo UNE-300 Rango 20°C, precisión 0.5°C.

Cocina eléctrica. Marca Selecta.

Microscopio de luz. Marca Zeiss modelo Axio star plus, con lámpara halógena de 20 W integrada y LED externo, con cámara digital

incorporada modelo AxioCam ERc 5s de 5 megapixels, interfase USB 2.0 mini y software ZEISS.

Termómetro digital. Marca Multidigital. Rango -10 a 100. Precisión ± 0.1 °C.

Multicalorímetro diferencial de barrido, equipado con Software NanoAnalyze (MCDSC TA Instruments, New Castle, DE, USA).

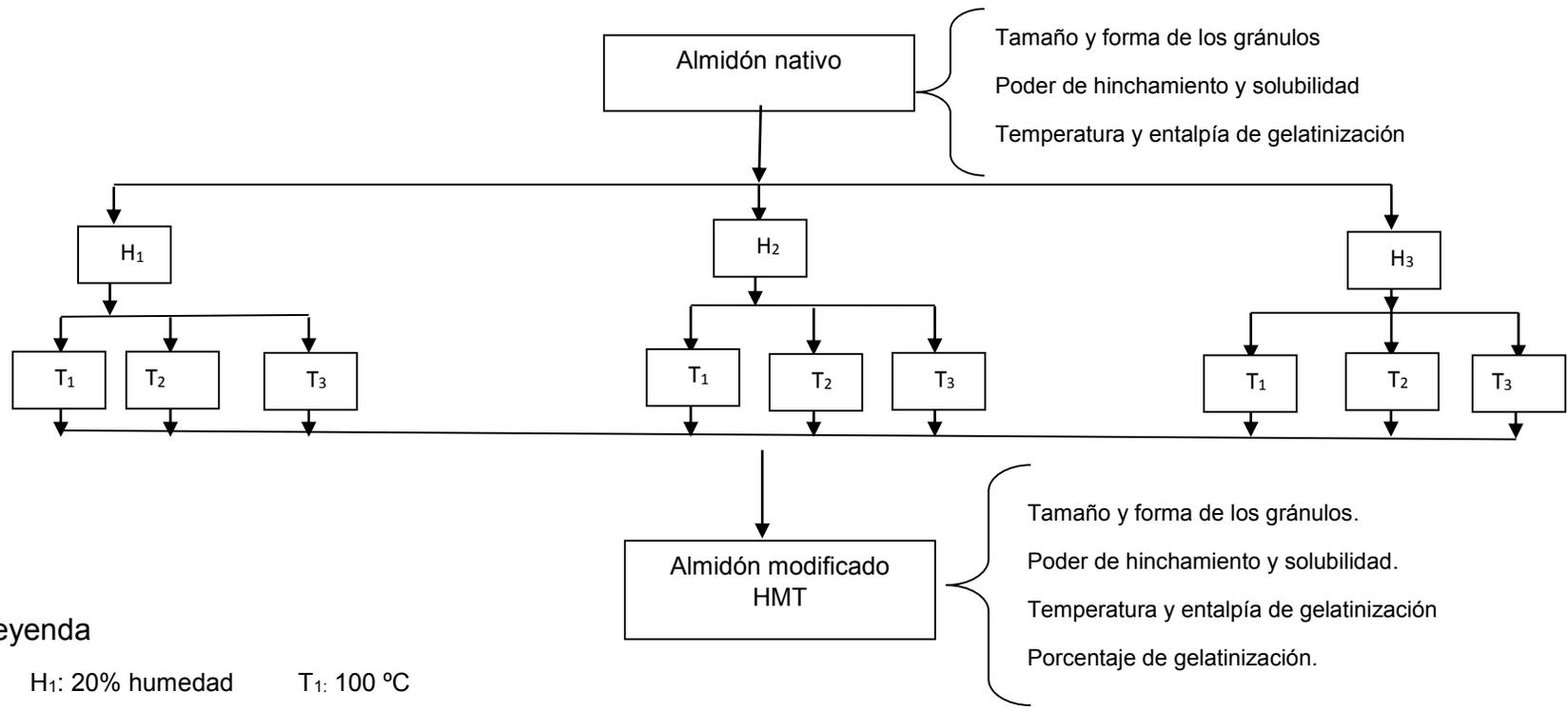
3.3. Método experimental de la investigación en almidón de papa

3.3.1. Esquema experimental de la investigación en almidón de papa

En la Figura 1 se presenta el esquema experimental para la investigación en almidón de papa modificado (HMT).

Son variables independientes: el contenido de humedad (20, 30 y 40%) y la temperatura de tratamiento (100, 110 y 120 °C); y variables dependientes: en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad) y propiedades térmicas (temperatura y entalpía de gelatinización, porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.

En el Cuadro 2 se muestra la codificación de los tratamientos evaluados.



Leyenda

- H₁: 20% humedad T₁: 100 °C
- H₂: 30% humedad T₂: 110 °C
- H₃: 40% humedad T₃: 120 °C

Figura 1. Esquema experimental para evaluar las características físicas y propiedades térmicas del almidón de papa modificado (HMT).

Cuadro 2. Codificación de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura de tratamiento (°C)
T1	20.0	100.0
T2	20.0	110.0
T3	20.0	120.0
T4	30.0	100.0
T5	30.0	110.0
T6	30.0	120.0
T7	40.0	100.0
T8	40.0	110.0
T9	40.0	120.0

3.3.2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón nativo

En la Figura 2, se presenta las operaciones para la obtención de almidón nativo.

A continuación, se describe cada operación presentada en el diagrama de flujo de la Figura 2, según la metodología presentada por Vargas (2015).

Selección: Treinta kilogramos de papa variedad Colparina, procedente de la provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad, con no más de tres días de cosecha, peso promedio de 150 g, en buen estado fueron seleccionadas descartando aquellas con deterioro microbiológico, picaduras de insectos o roedores.

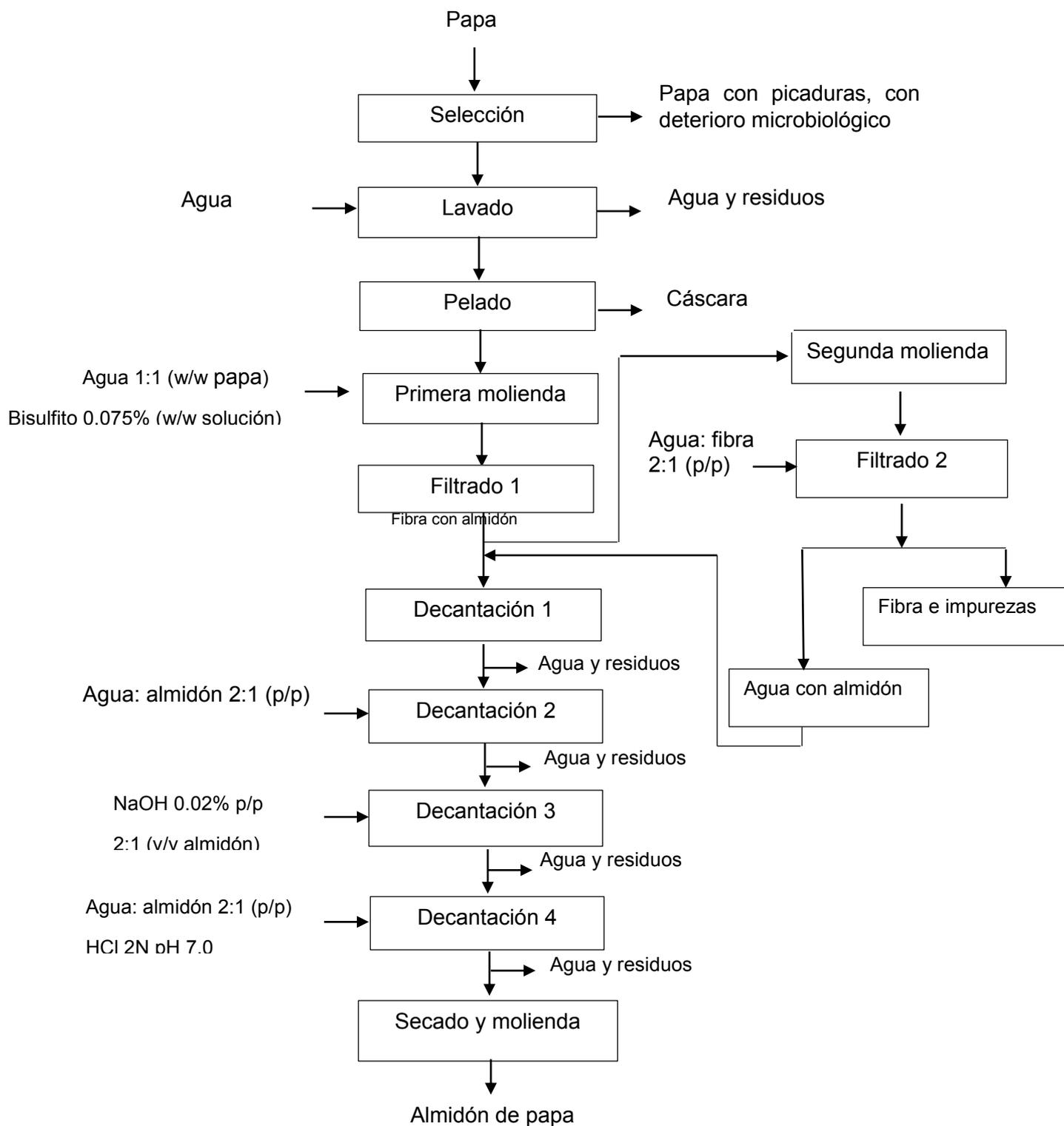


Figura 2. Diagrama de flujo para obtención de almidón de papa.

Fuente: Vargas (2015).

Lavado. Se realizó un lavado de las papas, por aspersion con agua potable con el fin de extraer el material contaminante.

Pelado y corte. Las papas se pelaron a mano, empleando cuchillos de acero inoxidable, se pesaron y se cortaron en trozos de 2 x 2 cm.

Primera Molienda. Se trituraron los trozos de papa durante 3 min a velocidad máxima, utilizando una licuadora industrial, con una relación de agua sulfitada: trozos de papa 2:1. Se empleó una concentración de bisulfito de sodio de 0.075% con el fin de inhibir el pardeamiento enzimático.

Filtrado 1. Se realizó con un tamiz N° 140 (serie ASTM) de abertura de malla 106 μm , con la finalidad de eliminar la fibra.

Segunda Molienda y Filtrado 2. Se realizó una segunda molienda por 3 min, de la fibra obtenida del filtrado 1, suspendiendo la fibra obtenida en agua con una relación de agua: fibra con almidón 2:1.

Filtrado 2. Se realizó con un tamiz N° 140 (serie ASTM) de abertura de malla 106 μm , con la finalidad de eliminar la fibra. La suspensión de almidón obtenida se mezcló con la obtenida del primer filtrado, para su sedimentación.

Sedimentación 1. La sedimentación se realizó por 4 h, al cabo de las cuales se eliminó cuidadosamente el sobrenadante.

Sedimentación 2. Se preparó una suspensión con el almidón sedimentado: agua 2:1. Se mezcló y dejó sedimentar por 4 h para luego eliminar el sobrenadante.

Sedimentación 3. Se preparó una suspensión almidón sedimentado: solución de hidróxido de sodio (0.02% p/p) 2:1, se dejó reposar por 3 h, para luego descartar el sobrenadante.

Sedimentación 4, 5 y 6. Se preparó una suspensión almidón sedimentado: agua 1:1, con el fin de regular el pH (7). Se dejó reposar por 3 h, para luego descartar el sobrenadante. Este procedimiento se repitió tres veces.

Secado y molienda. El almidón sedimentado se colocó en bandejas de plástico, con un espesor de 0.5 cm y se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, para evitar la modificación del almidón, hasta una humedad final de 12%. La molienda se realizó en un molino de martillos para reducir el tamaño de partícula y se tamizó con una tamiz N° 140 (serie ASTM) de abertura de malla 106 μm .

Envasado y almacenamiento. El almidón se envasó en frascos de vidrio de 1 kg almacenándose a temperatura ambiente, hasta su posterior tratamiento con calor húmedo.

3.3.3. Elaboración del almidón modificado tipo HMT

Se ajustó el contenido de humedad del almidón nativo al contenido de humedad deseado (20%, 30% y 40%) suspendiendo 200 g de almidón en 600 mL de agua durante 12 h a 4 $^{\circ}\text{C}$. El exceso de agua en suspensión equilibrada se extrajo para obtener una torta de almidón que fue secada a 37 $^{\circ}\text{C}$ hasta lograr el contenido de humedad deseado, realizando balance de masa. Posteriormente, las muestras de almidón se colocaron en botellas con tapa roscada de 250 mL y se calentaron a 100, 110 y 120 $^{\circ}\text{C}$ durante 8 h (Jiranuntakul y otros, 2011); luego se envasaron en frascos de vidrio de 250 g de capacidad y se almacenaron a temperatura ambiente para su posterior análisis (Guerra y otros, 2010). El almidón nativo se utilizó como un control.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Tamaño de los gránulos

El tamaño de los gránulos se determinó mediante observación microscópica directa, utilizando Microscopio de luz marca Zeiss. En un portaobjeto se colocó una gota de una suspensión de almidón al 1%. Se

cubrió con el cubreobjeto y se realizaron las mediciones con un aumento de 40x. Se reportó el diámetro mayor de los gránulos de almidón (Hernandez-Medina y otros, 2008).

3.4.2. Poder de hinchamiento y solubilidad

El poder de hinchamiento (PH) y la solubilidad (S) del almidón nativo y modificado fueron determinados por el método propuesto por Huang y otros (2016). Se pesó 0.4 g de almidón y se colocó en un tubo de centrifuga (50 mL) que contenía 20 mL de agua destilada, el tubo de centrifuga se calentó en un baño de agua a 80 °C durante 30 min, posteriormente se centrifugó a 5000 rpm durante 30 min. Luego se separó y pesó los sobrenadantes y el sedimento de almidón hinchado. Posteriormente, el sobrenadante se secó en una estufa a 105 °C hasta peso constante y se pesó. El PH (g/g ms) y S (%) se calculó mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$PH (g/g) = \frac{\text{peso almidón sedimentado}}{[\text{peso almidón seco} * (1 - S)]} \quad (1)$$

$$S (\%) = \frac{\text{peso sobrenadante seco}}{\text{peso almidón seco}} * 100 \quad (2)$$

3.4.3. Temperatura y entalpía de gelatinización

La temperatura y entalpía de gelatinización de las muestras de almidón nativo y modificado se determinaron mediante el uso de un multicalorímetro diferencial de barrido (MDSC, TA Instruments, USA). Se siguió la metodología descrita por Lin y otros (2013) con ligeras modificaciones. Se pesó la muestra de almidón (aproximadamente 20 mg) en la cápsula y se añadió agua ultra pura (almidón: agua = 1: 3), luego se selló la cápsula y se equilibró a temperatura ambiente durante 1 h. Las muestras se calentaron de 25 a 115 °C a una velocidad de calentamiento de 2 °C/min. Las temperaturas reportadas fueron la inicial (To), pico (Tp) y la final (Tf). La entalpía de gelatinización (ΔH) se calculó por integración del área entre la curva endotérmica y una línea base bajo el pico con el software

NanoAnalyze (TA instrumentos, New Castle, DE, USA) y se expresó en términos de Joules por gramo de almidón seco. Antes de la medición de las propiedades térmicas, el equipo fue calibrado haciendo una corrida con muestras de agua ultra pura con lo cual se validó el correcto funcionamiento del equipo.

3.4.4. Grado de gelatinización

El grado de gelatinización (GG) del almidón modificado se calculó sobre la base al método descrito por Huang y otros (2016). La entalpía de gelatinización (ΔH) de las muestras de almidón nativo y modificado se utilizó para calcular GG de acuerdo con la ecuación 3.

$$GG (\%) = \left(1 - \frac{\Delta H_m}{\Delta H_n} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde ΔH_m y ΔH_n son las entalpias de gelatinización del almidón modificado y nativo respectivamente.

3.5. Análisis estadístico

El diseño estadístico corresponde a un arreglo factorial de 3*3 con tres repeticiones.

Para evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades funcionales del almidón de papa modificado (HMT), se aplicó un análisis de varianza (ANVA) ($\alpha=0.05$). Así mismo, se aplicó la Prueba de Levenne para evaluar homogeneidad de varianzas, finalmente la Prueba de comparaciones múltiples de Duncan, todas con un nivel de confianza del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Almidón nativo de papa nativa variedad Colparina

4.1.1. Características físicas

a) Tamaño de los gránulos

Tal como se observa en el Anexo 1, el tamaño del gránulo del almidón nativo de papa variedad Colparina, se encontró en un rango de 7 a 36 μm .

La forma de los gránulos de almidón de papa según las imágenes logradas revela formas circulares para los tamaños pequeños y elípticos para los tamaños grandes. Resultado similar ha sido reportado por Salas y Medina (2008) para almidón nativo de papa y por Schirmer y otros (2013) para gránulos de almidón de papa cerosa y normal, indicando adicionalmente que los gránulos de almidón de papa se muestran excepcionalmente más grandes en comparación con los gránulos de almidón de granos y cereales, como maíz, trigo y cebada. De igual modo, Jiranuntakul y otros (2011) indican que los gránulos de almidón nativo de papa presentan tamaño de 5 a 80 μm , con forma redondeada a elíptica y superficie lisa.

Singh y otros (2003) indican que las características morfológicas de los almidones de diferente fuente varían con el genotipo y prácticas culturales. Señalan que la variación en el tamaño (1 a 110 μm) y la forma de los gránulos almidón se atribuye al origen biológico y depende de la bioquímica del cloroplasto o amiloplasto, así como la fisiología de la planta, siendo el tamaño medio de gránulo de almidón de papa de 1 a 20 μm para gránulos pequeños y de 20 a 110 μm para gránulos grandes.

En algunos gránulos se pudo observar el hilum en forma de punto ubicado en el centro para gránulos pequeños y en forma

excéntrica para gránulos grandes elípticos, tal como reporta (Salas y Medina, 2008).

b) Poder de hinchamiento y solubilidad

El poder de hinchamiento y la solubilidad del almidón de papa variedad Colparina presentaron valores de 15.02 ± 0.1 g agua/g almidón y $13.63 \pm 0.36\%$ respectivamente (Anexo 3). Los valores de poder de hinchamiento fueron menores y el porcentaje de solubilidad se encontró dentro del rango de los valores reportados por Martínez y otros (2015) para papas nativas de las variedades Kalis qero (KQ), Pitikiña (PI), Solischa (SOL), Yana churos (YACH), Combe (CO), Qello virondos (QEV), Yana kusi (YAKU), Perwanita (PER), Puka ambrosio (PA), que presentaron poder de hinchamiento de 21.1 ± 0.79 , 25.7 ± 0.65 , 19.6 ± 0.29 , 22.80 ± 0.79 , 20.60 ± 0.44 , 20.40 ± 1.22 , 20.50 ± 0.28 g agua/g almidón y solubilidad a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $15.8 \pm 0.79\%$, $15.40 \pm 0.52\%$, $13.30 \pm 0.92\%$, $15.60 \pm 0.88\%$, $16.90 \pm 0.48\%$, $12.40 \pm 1.09\%$, $13.40 \pm 0.44\%$, $12.00 \pm 0.82\%$, $14.30 \pm 0.83\%$ respectivamente, e indican que la menor capacidad de absorción de agua podría deberse al tamaño del gránulo de almidón.

Kaur y otros (2007) encontraron diferencias en el poder de hinchamiento para fracciones de gránulos pequeños ($30.4\text{-}30.7$ g agua/g almidón) y grandes ($25.7\text{-}27.2$ g agua/g almidón) de almidones de diferentes cultivares de papa cosechados en India.

Según Charles y otros (2005) el contenido de amilosa y amilopectina, así como el contenido de proteínas y lípidos, son determinantes en ciertas características estructurales y funcionales del almidón, y por lo tanto condicionan que éste pueda ser añadido a un alimento específico para mejorar sus características y apariencia.

4.1.2. Propiedades térmicas

Las temperaturas inicial, pico y final de gelatinización del almidón nativo de papa variedad Colparina fueron $59.66 \pm 0.07\text{ }^{\circ}\text{C}$,

62.64±0.54 °C y 67.88±1.26, respectivamente (Anexo 5), valores fueron cercanos a los reportados por Alvani y otros (2014) (62.5 a 66.1 °C) para almidón nativo extraído de 10 variedades de papa nativa cultivadas en Reino Unido.

La entalpía de gelatinización del almidón nativo de papa variedad Colparina fue de 15.20±0.38 J/g ms.

4.2. Almidón modificado tipo HMT de papa nativa variedad colparina

4.2.1. Características físicas

a) Tamaño de los gránulos

En la Figura 3 (Anexos 1 y 2) se muestra el tamaño del gránulo de almidón de papa modificado tipo HMT, variedad Colparina, de los diferentes tratamientos evaluados.

Tal como se muestra el tamaño del gránulo del almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina, se encontró en un rango de 25 a 51 μm , indicando que el tratamiento incrementó el tamaño de los gránulos (con respecto al almidón nativo), con excepción de los tratamientos T3 y T6.

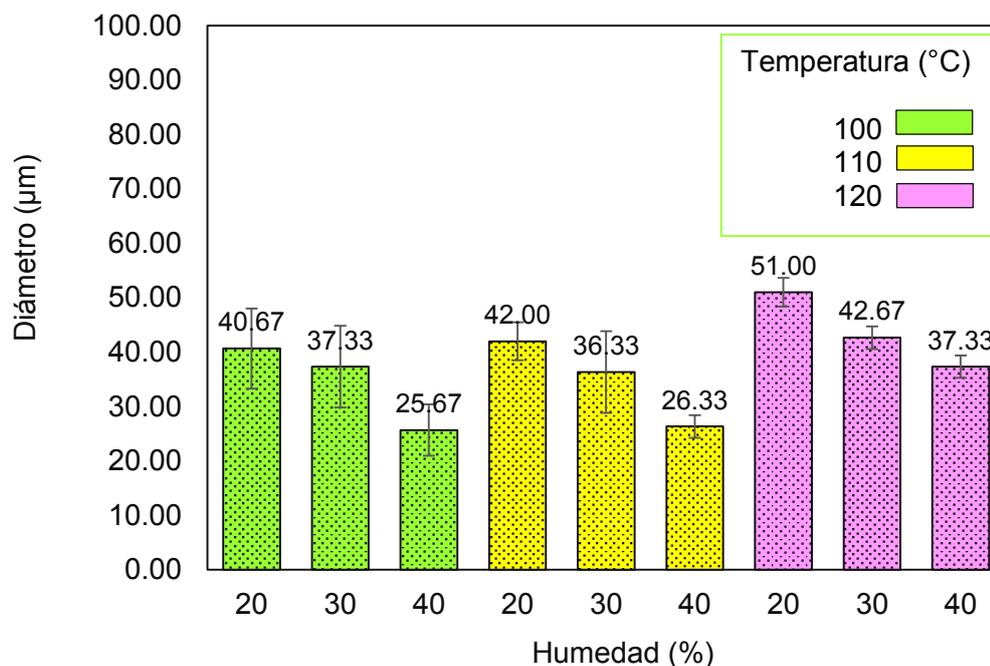


Figura 3. Tamaño del gránulo de almidón de papa modificado tipo HMT variedad Colparina.

Adicionalmente se observa formación de grietas, signos de pérdida de integridad física con distensión de la superficie granular. Este cambio en la morfología granular de almidón de papa modificado HMT, es probablemente debido al alto contenido de humedad durante tratamiento hidrotérmico, lo que originaría una gelatinización parcial del gránulo (Da Rosa Zavareze y otros, 2010).

En el Cuadro 3, se muestra la prueba de Levene modificada para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina observándose homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 3. Prueba de Levene modificada para valores de tamaño de gránulo

Característica	Estadístico de Levene	p
Tamaño del gránulo	0.680	0.701

En el Cuadro 4 se observa el análisis de varianza para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina, el cual muestra que el porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el tamaño de gránulo de almidón de papa variedad Colparina.

Cuadro 4. Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo

Fuente de variación	de	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Humedad: H		998.296	2	499.148	20.297	<0.05
Temperatura: T		480.519	2	240.259	9.770	0.001
H*T		36.148	4	9.037	0.367	0.829
Error		442.667	18	24.593		
Total		1957.630	26			

Da Rosa Zavareze y otros (2010) investigaron el efecto del tratamiento HMT sobre las propiedades de los almidones de arroz con alto, medio y bajo contenido de amilosa. Los almidones se ajustaron a niveles de humedad del 15%, 20% y 25% y se calentaron a 110 °C durante 1 h y observaron efecto significativo de la humedad en la forma y el grado de aglomeración de los gránulos de almidón de arroz, haciendo los gránulos más agregados y la superficie de los gránulos más irregular, en

comparación con el almidón nativo de arroz de medio y alto contenido amilosa.

Sin embargo, Jiranuntakul y otros (2011) no observaron diferencia significativa en la forma y tamaño de gránulos de almidón de maíz y papa después del tratamiento HMT (25% de humedad, 100 °C, 16 h).

Huang y otros (2016) indican que las diferentes fuentes botánicas o las condiciones de tratamiento, incluyendo la temperatura, el tiempo y el contenido de humedad, pueden causar diferente efecto sobre la morfología de los gránulos de almidón por tratamiento con calor húmedo (HMT).

En el Cuadro 5, se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, donde se pudo apreciar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotado por la formación de subgrupos. De igual modo se observa que los tratamientos T3 y T6, presentaron mayor tamaño de gránulo.

Cuadro 5. Prueba de Duncan para valores de tamaño de gránulo

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo		
			1	2	3
T7	40	100	25.67		
T8	40	110	26.33		
T4	30	110		36.33	
T3	30	100		37.33	
T9	40	120		37.33	
T1	20	100		40.67	
T2	20	110		42.00	
T6	30	120		42.67	42.67
T3	20	120			51.00

De manera similar, Singh y otros (2011) indicaron que el efecto del tratamiento HMT sobre la morfología de los gránulos de almidón de sorgo fue dependiente de la humedad (20, 30 y 40%) a la temperatura de tratamiento 110 °C por 8 h y Da Rosa Zavareze y otros (2010) encontraron que en muestras de almidón de arroz de baja amilosa, había signos de pérdida de integridad física con distensión de la superficie granular en muestras con 25% humedad.

Liu y otros (2015) mostraron que el tratamiento HMT (20%, 25%, 30% y 35% de humedad, 110°C, 16 h) presentó efecto significativo sobre las propiedades morfológicas de almidón de trigo sarraceno y fue dependiente del porcentaje de humedad. Observaron fisuras en la superficie del gránulo almidón de trigo sarraceno modificado por HMT a 25, 30 y 35 °C.

Este cambio en la morfología granular por HMT, es probablemente debido al elevado contenido de humedad durante tratamiento hidrotérmico, condición que hace posible la ocurrencia de gelatinización parcial y cambios morfológicos (Da Rosa Zavareze y otros, 2010).

b) Poder de hinchamiento y solubilidad

El poder de hinchamiento y solubilidad del almidón de papa modificado (HMT) (Anexo 4) se presentan en las figuras 4 y 5 respectivamente, observándose una disminución en ambas características, encontrándose en un rango de 7.12 a 12.40 g agua/g almidón en poder de hinchamiento y 3.33 a 6.67 % en solubilidad, en comparación con el almidón de papa nativo, el cual presentó un poder de hinchamiento y solubilidad de 15.02 ± 0.1 g agua/g almidón y $13.63 \pm 0.36\%$ respectivamente.

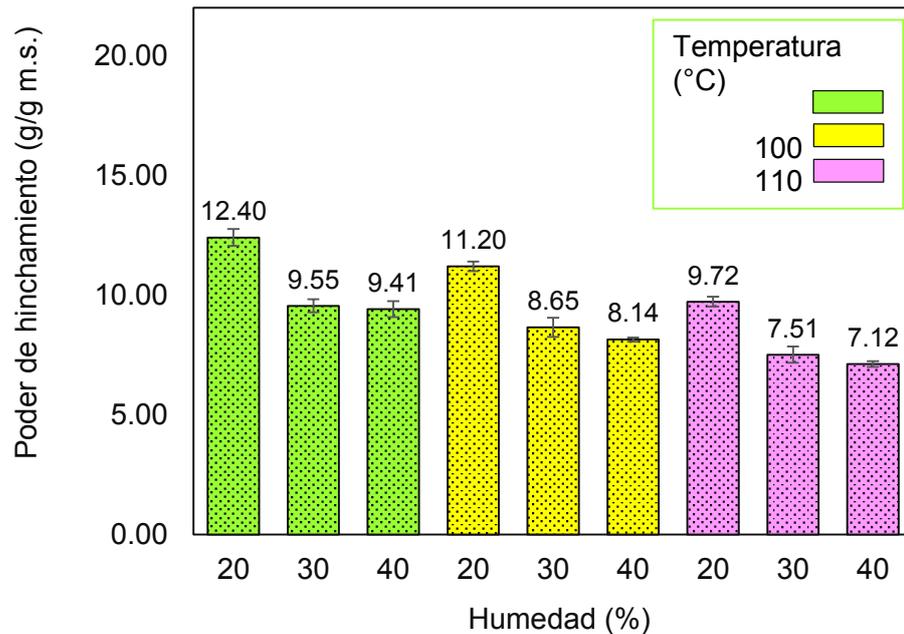


Figura 4. Poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.

Li y otros (2011) determinaron el poder de hinchamiento de muestras de almidón de *Vigna radiata* a 15%, 20%, 25%, 30% y 35%, tratadas a 120 °C durante 12 h. Encontraron que las muestras tratadas exhibieron menor poder de hinchamiento y solubilidad que la muestra de almidón nativo. Sugirieron que la reducción de la capacidad de hinchamiento del almidón HMT puede deberse al reordenamiento de su estructura molecular. Indican que los gránulos de almidón comienzan a hincharse en la fracción amorfa relativamente móvil. Durante el HMT, se origina una reordenación de las cadenas moleculares y formación de una estructura de doble hélice ordenada de amilopectina, por lo que esta estructura rígida dentro del gránulo de almidón HMT limitaría la hinchazón del gránulo de almidón. Así, la disminución de la capacidad de hinchamiento se atribuye a la reorganización estructural y/o re-asociaciones de las cadenas de almidón

Varios investigadores han estudiado el efecto del HMT en el poder de hinchamiento de almidón de yuca, papa (Gunaratne y

Hoover, 2002), arroz (Horndok y Noomhorm, 2007), sorgo (Olayinka y otros, 2008) y maíz. Esta reducción en el poder de hinchamiento se ha atribuido al aumento de la cristalinidad, la reducción de la hidratación (Waduge y otros, 2006), el aumento de las interacciones entre moléculas de amilosa y amilopectina, los enlaces intramoleculares reforzados, la formación de complejos de amilosa-lípido (Waduge y otros, 2006) y cambios en las disposiciones de las regiones cristalinas del almidón (Da Rosa Zavareze y Guerra, 2011)

La solubilidad del almidón es el resultado de la lixiviación de la amilosa, que se disocia y se difunde de los gránulos durante el hinchamiento. Esta lixiviación representa una transición del orden al desorden dentro de los gránulos de almidón que se produce cuando el almidón se calienta con agua (Tester y Debon, 2000). Olayinka y otros (2008) observaron una disminución en la solubilidad del almidón de sorgo blanco tratado hidrotérmicamente en comparación con el almidón nativo. Esta disminución de solubilidad se incrementó aumentando el contenido de humedad de los almidones tratados de 18 a 27%. Por el contrario, Horndok y Noomhorm (2007) no observaron diferencias significativas en las solubilidades del arroz tratado hidrotérmicamente y del almidón de arroz nativo.

La reducción del poder de hinchamiento y la solubilidad después de HMT se ha atribuido a la reordenación interna de los gránulos de almidón, lo que provoca interacciones adicionales entre los grupos funcionales del almidón, la formación de cadenas ordenadas de doble helicoidal de amilopectina, la formación de complejos de amilosa-lípido dentro de los gránulos (Olayinka y otros, 2008).

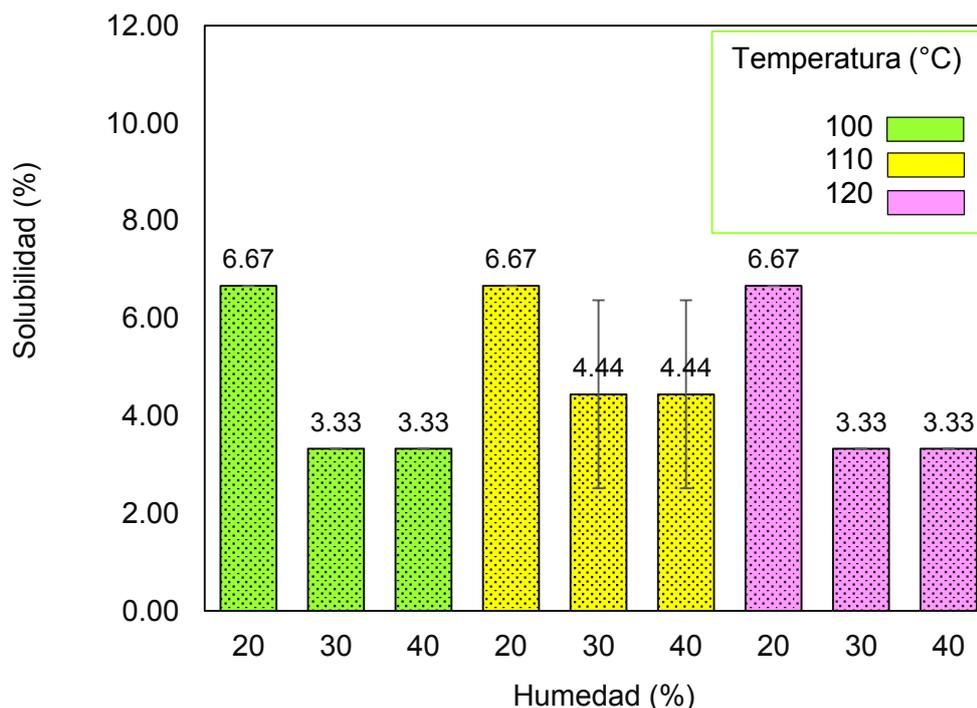


Figura 5. Solubilidad de almidón de papa (HMT) variedad Colparina.

Da Rosa Zavareze y Guerra (2011) indican que el HMT generalmente reduce el poder de hinchamiento del almidón y es en gran medida influenciado por la interacción entre el grado de cristalinidad de la amilosa y/o amilopectina. Tanto la cristalinidad como el grado de interacción de la cadena de amilosa disminuyen la hidratación de las regiones amorfas del almidón, lo que disminuye la hinchazón granular. Esta reducción de la hinchazón granular debido a HMT ha sido específicamente observado en almidón de papa. Adicionalmente, Gomes y otros (2005) explican que un aumento en la organización molecular es responsable de la reducción en el poder de hinchamiento y la solubilidad del almidón.

De igual modo se ha informado que HMT reduce poder de hinchamiento en el almidón de cebada (Waduge y otros, 2006), yuca fermentada (Gomes y otros, 2005), yuca sin fermentar (Gomes y otros, 2004) y trigo (Lan y otros, 2008). La solubilidad reducida de almidón recocado es debido a un fortalecimiento de los

lazos entre amilosa y amilopectina o entre moléculas de amilopectina (Gomes y otros, 2005).

En el Cuadro 6, se muestra la prueba de Levene modificada para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina observándose homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 6. Prueba de Levene modificada para valores de poder de hinchamiento y solubilidad

Característica	Estadístico de Levene	p
Poder de hinchamiento (g/g ms)	0.410	0.897
Solubilidad (%)	0.880	0.555

En los Cuadros 7 y 8 se presenta el análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina, observándose que el porcentaje de humedad y la temperatura de incubación presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) en el poder de hinchamiento, a diferencia de la solubilidad donde solo se observó efecto del porcentaje de humedad.

Liu y otros (2015) mostraron que el porcentaje de humedad (20%, 25%, 30% y 35%) presentó efecto significativo sobre el poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de alforfón modificado por HMT de humedad, tratado a la temperatura de 110 °C durante 16 h e indicaron que los cambios estructurales en los gránulos de almidón, incluyendo en la estructura molecular de la amilopectina y la formación de pequeñas redes a través de fuertes enlaces, pudieron influir en la reducción del poder de hinchamiento y solubilidad después del tratamiento HMT. Esta reducción del poder

de hinchamiento de almidón modificado HMT es deseable en la fabricación de fideos (Horndok y Noomhorm, 2007).

Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Humedad: H	44.620	2	22.310	290.257	<0.05
Temperatura: T	24.535	2	12.267	159.602	<0.05
H*T	0.400	4	0.100	1.300	0.307
Error	1.384	18	0.077		
Total	70.938	26			

Cuadro 8. Análisis de varianza para valores de solubilidad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Humedad: H	52.886	2	26.443	32.000	<0.05
Temperatura: T	3.305	2	1.653	2.000	0.164
H*T	1.653	4	0.413	0.500	0.736
Error	14.874	18	0.826		
Total	72.718	26			

Horndok y Noomhorm (2007) encontraron efecto significativo del porcentaje de humedad (15%, 20% y 25%), temperatura (100, 105 y 110 °C) y tiempo de tratamiento (0.5, 1.0 y 1.5 h) en la solubilidad del almidón de arroz HMT. Indicaron que la disminución en la solubilidad del almidón de arroz HMT pudo deberse al fortalecimiento de los enlaces, con un aumento de las interacciones entre amilosa y amilopectina, impidiendo que se liberen de la molécula de almidón.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para valores de solubilidad

Tratamiento	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo	
			1	2
T4	30	100	3.33	
T7	40	100	3.33	
T6	30	120	3.33	
T9	40	120	3.33	
T5	30	110	4.44	
T8	40	110	4.44	
T1	20	100		6.67
T2	20	110		6.67
T3	20	120		6.67

Adebowalea y otros (2005) encontraron efecto significativo del porcentaje de humedad (20%, 25% y 30%) durante la modificación HMT de almidón, siendo el orden de menor a mayor solubilidad los tratamientos con 30%, 20% y 25% de humedad.

Sui y otros (2015) evaluaron el efecto del contenido de humedad (20, 25 y 30%) y tiempo de tratamiento (2, 4, 8 y 16 h) a 100 °C sobre las propiedades fisicoquímicas y estructurales de muestras de almidón normal (NMS) y almidón de maíz ceroso (WMS). Los resultados mostraron que el contenido de humedad afectó significativamente propiedades fisicoquímicas del NMS y el tiempo de tratamiento para WMS. El poder de hinchamiento disminuyó en NMS pero aumentó en WMS, y mientras que el índice de solubilidad disminuyó para ambas muestras, los cambios fueron determinados en gran parte por contenido de humedad.

c) Propiedades térmicas

Los resultados correspondientes a las propiedades térmicas del almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina se muestran en las Figuras 6, 7, 8 y 9 (Anexo 5).

Tal como se observa los valores se encontraron entre 60.92 a 63.18 °C; 67.80 a 72.49 °C; 74.56 a 82.71 °C para las temperaturas inicial, pico y final de gelatinización, respectivamente, y la entalpia de gelatinización entre 12.13 a 5.10 J/g.

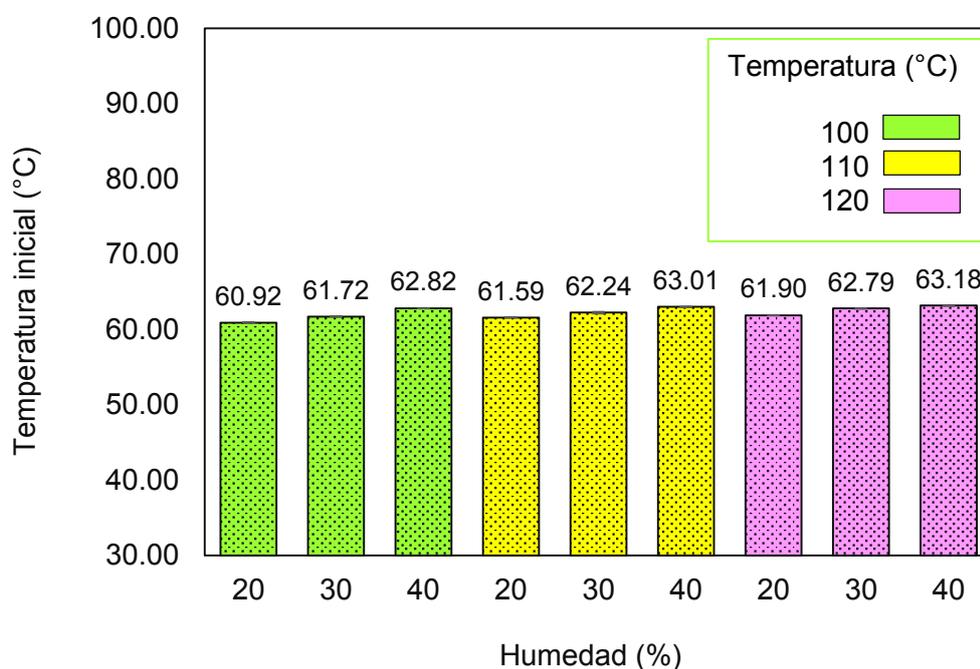


Figura 6. Temperatura inicial de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).

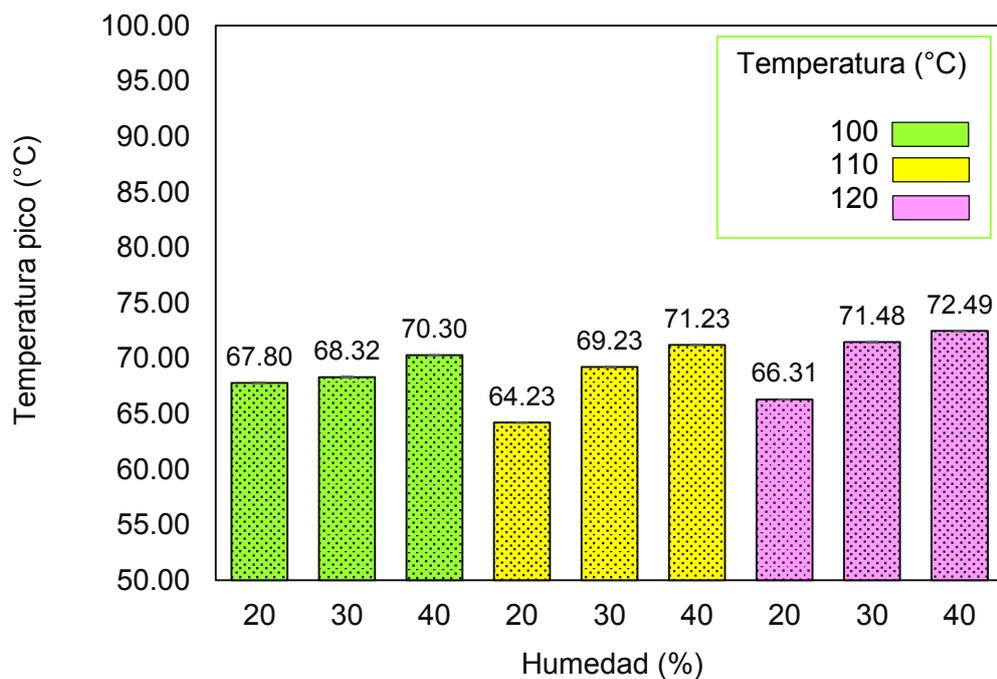


Figura 7. Temperatura pico de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).

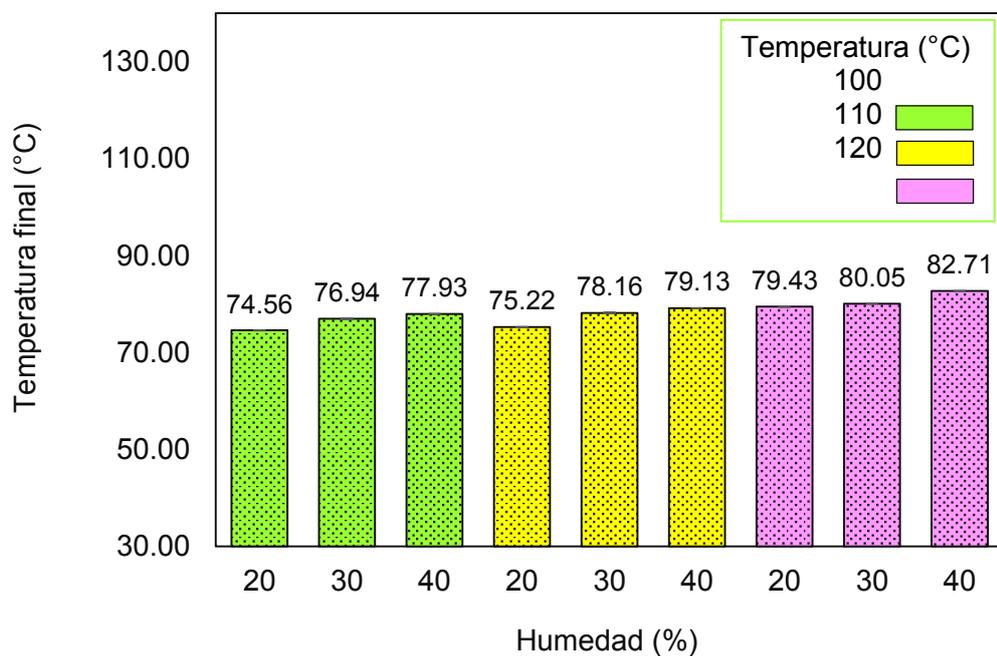


Figura 8. Temperatura final de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT)

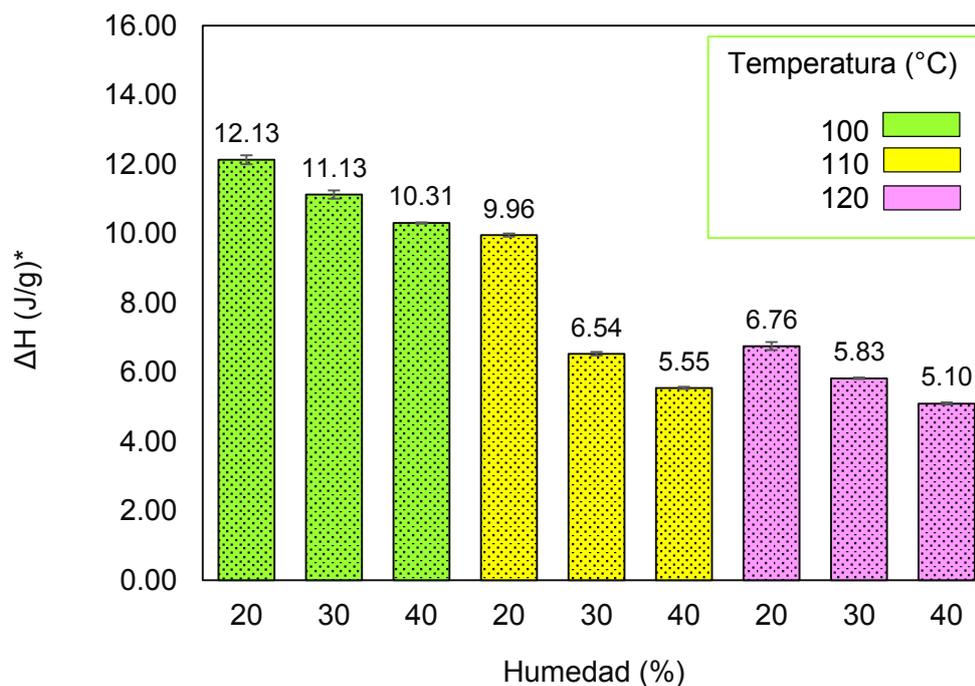


Figura 9. Entalpía de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (HMT).

Sui y otros (2015) determinaron que solo el contenido de humedad (20%, 25% y 30%) incrementaron significativamente las temperaturas de gelatinización de almidón normal (NMS) y almidón de maíz ceroso (WMS) a diferencia del tiempo de calentamiento (2, 4, 8 y 16 h) a 100 °C.

Da Rosa Zavareze y Guerra (2011) indicaron que HMT influye en la temperatura de inicio (T_o), la temperatura máxima (T_p), la temperatura de conclusión (T_c) y la entalpía de gelatinización (Δ Delta H) del almidón. Este efecto depende del nivel de humedad del tratamiento, de la fuente de almidón y del contenido de amilosa. Las temperaturas de inicio, pico y conclusión de la gelatinización generalmente aumentan a medida que aumenta la intensidad de calor y humedad. Este aumento se ha observado en la papa, la yuca, el ñame verdadero (Gunaratne y Hoover, 2002), maíz (Maache-Rezzoug y otros, 2009). El incremento de T_o , T_p y T_c se han atribuido a cambios estructurales dentro de los gránulos de almidón, que implican interacciones

amilosa-amilosa y amilosa-lípido (Da Rosa Zavareze y Guerra, 2011).

Adebowale y otros (2005) encontraron que el proceso de gelatinización, que implica la fusión de regiones cristalinas y hélices dobles, se determina por la hidratación y el hinchamiento de las regiones amorfas de los gránulos de almidón. Cuando la región amorfa se hincha, imparte una tensión sobre las regiones cristalinas y las cadenas de polímero se separan de la superficie de cristales de almidón. Después de HMT, las interacciones amilosa-amilosa y amilosa-lípido reducen la movilidad de la región amorfa. Como resultado, los almidones tratados con calor húmedo requieren una temperatura más alta para que se produzca el hinchamiento y la disrupción de las regiones cristalinas, dando lugar a un incremento de T_0 , T_p y T_c .

En el Cuadro 11, se muestra la prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina observándose homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 11. Prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas

Propiedad térmica	Estadístico de Levene	p
T_0	1.000	0.471
T_p	0.150	0.995
T_f	0.310	0.954
ΔH	0.950	0.503

En el Cuadro 12 se observa el análisis de varianza para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina, el cual muestra que el porcentaje de humedad y temperatura de tratamiento presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre dichas propiedades.

Cuadro 12. Análisis de varianza para valores de propiedades térmicas

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
T_0	Humedad: H	10.642	2	5.321	4140.45	<0.05
	Temperatura: T	2.924	2	1.462	1137.76	<0.05
	H*T	0.500	4	0.125	97.32	<0.05
	Error	0.023	18	0.001		
	Total	14.090	26			
T_p	Humedad: H	128.208	2	64.104	258330.49	<0.05
	Temperatura: T	16.343	2	8.171	32929.83	<0.05
	H*T	26.071	4	6.518	26265.13	<0.05
	Error	0.004	18	0.000		
	Total	170.626	26			
T_f	Humedad: H	55.977	2	27.988	83965.233	<0.05
	Temperatura: T	88.669	2	44.334	133003.200	<0.05
	H*T	5.034	4	1.258	3775.383	<0.05
	Error	0.006	18	0.000		
	Total	149.685	26			
ΔH	Humedad: H	32.461	2	16.231	2801.942	<0.05
	Temperatura: T	134.714	2	67.357	11628.070	<0.05
	H*T	8.815	4	2.204	380.458	<0.05
	Error	0.104	18	0.006		
	Total	980.585	26			

Cuadro 14. Prueba de Duncan para valores de temperatura pico de gelatinización

Trat	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
T2	20	110	64.23									
T3	20	120		66.31								
T1	20	100			67.80							
T4	30	100				68.32						
T5	30	110					69.23					
T7	40	100						70.30				
T8	40	110							71.23			
T6	30	120								71.48		
T9	40	120									72.49	

Cuadro 15. Prueba de Duncan para valores de temperatura final de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina

Trat	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
T1	20	100	74.5									
			6									
T2	20	110		75.2								
				2								
T4	30	100			76.9							
					4							
T7	40	100				77.9						
						3						
T5	30	110					78.1					
							6					
T8	40	110						79.13				
T3	20	120							79.4			
									3			
T6	30	120								80.05		
T9	40	120									82.71	

Cuadro 16. Prueba de Duncan para valores de entalpía de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina

Trat	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
T9	40	120	5.10								
T8	40	110		5.55							
T6	30	120			5.83						
T5	30	110				6.54					
T3	20	120					6.76				
T2	20	110						9.96			
T7	40	100							10.31		
T4	30	100								11.13	
T1	20	100									12.13

De igual modo Chung y otros (2009) reportan una disminución de los valores para la entalpía de gelatinización (en almidón de maíz modificado HMT, (porcentaje de humedad 30%; temperatura de tratamiento: 120 °C durante 24 h), en comparación con el almidón nativo (12.1 ± 0.1 J/g) a medida que se incrementaba el porcentaje de humedad y la temperatura de tratamiento.

Chung y otros (2010) reportaron disminución significativa de la entalpia de gelatinización para muestras de almidón de arvejas (7.5 ± 0.5 J/g; 6.1 ± 0.3 J/g), lentejas (7.1 ± 0.1 J/g) y frijoles blancos (8.0 ± 0.0 J/g), después del tratamiento hidrotérmico (30% humedad, 100 y 120 °C, 2 h) con respecto al almidón nativo 12 ± 0.1 J/g, 13.5 ± 0.1 J/g, 14.9 ± 0.0 J/g, respectivamente.

Horndok y Noomhorm (2007) indican que la reducción de ΔH promovida por HMT después del tratamiento hidrotérmico

puede deberse a la gelatinización parcial de moléculas de amilosa y amilopectina que son menos estables durante el calentamiento.

Grado de gelatinización

En la Figura 10 se muestra los resultados correspondientes al grado de gelatinización del almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.

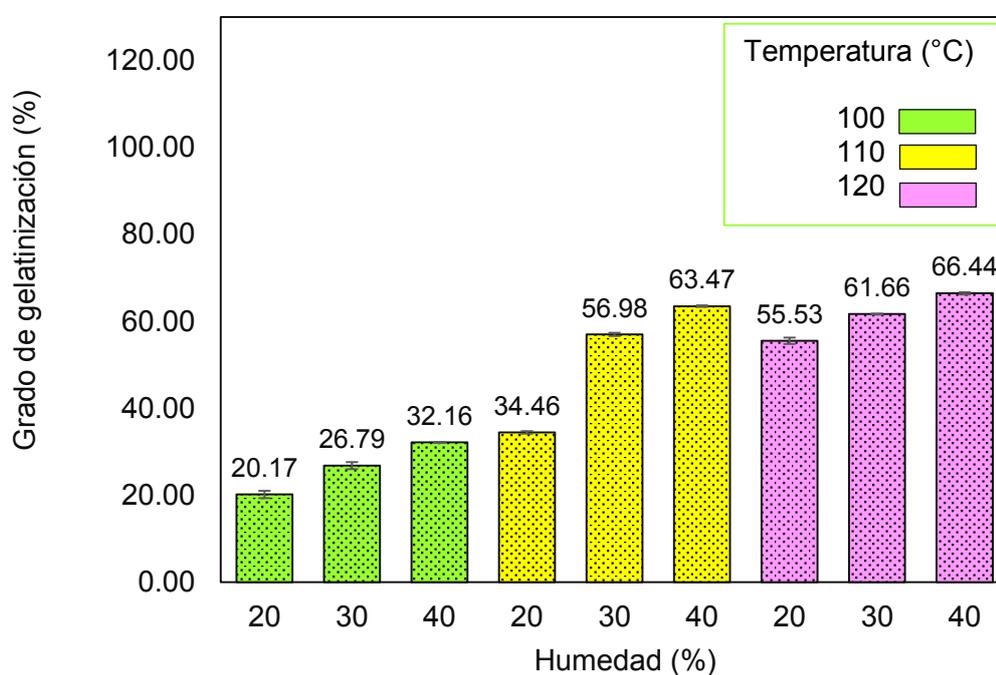


Figura 10. Grado de gelatinización del almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.

Tal como se observa, los valores del grado de gelatinización (DG) mostraron que el tratamiento HMT causó gelatinización de los gránulos de almidón a las tres temperaturas evaluadas, incrementándose significativamente a medida que aumentaba el porcentaje de humedad. Un mayor grado de gelatinización se encontró en muestras tratadas a 120 °C para los tres porcentajes de humedad evaluados.

En el Cuadro 17, se muestra la prueba de Levene modificada para grado de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina observándose homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 17. Prueba de Levene modificada para valores de grado de gelatinización

Estadístico de Levene	p
0.950	0.503

En el Cuadro 18 se observa el análisis de varianza para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina, el cual muestra que el porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre dichas propiedades.

Cuadro 18. Análisis de varianza para valores de grado de gelatinización

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	p
Humedad: H	1405.001	2	702.500	2801.942	<0.05
Temperatura: T	5830.760	2	2915.380	11628.070	<0.05
H*T	381.552	4	95.388	380.458	<0.05
Error	4.513	18	0.251		
Total	7621.826	26			

En el Cuadro 19, se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, donde se pudo apreciar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotado por la formación de subgrupos. De igual modo se observa que el tratamiento (T9) presentó el mayor grado de gelatinización.

Cuadro 19. Prueba de Duncan para valores de grado de gelatinización

Trat	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Subgrupo								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
T1	20	100	20.17								
T4	30	100		26.79							
T7	40	100			32.16						
T2	20	110				34.46					
T3	20	120					55.53				
T5	30	110						56.98			
T6	30	120							61.66		
T8	40	110								63.47	
T9	40	120									66.44

Resultados similares han sido reportados por Da Rosa Zavareze y Guerra (2011), quienes indican que el efecto del tratamiento HMT del almidón sobre las características de gelatinización está bien establecida, en particular mediante la DSC, con un incremento del grado de gelatinización.

De acuerdo a lo reportado Singh y otros (2003), el orden cristalino en los gránulos de almidón suele ser el factor básico subyacente que influye en las propiedades funcionales. El colapso del orden cristalino dentro del gránulo de almidón se manifiesta como cambios irreversibles en las propiedades, tales como hinchamiento de gránulos, formación de pasta, pérdida de birrefringencia, pérdida del orden cristalino, desenrollamiento y disociación de las hélices dobles y solubilidad del almidón. El orden-desorden que ocurre al calentar una suspensión acuosa de gránulos de almidón puede ser relacionado con las características del gránulo de almidón, tales como grado de cristalinidad, fuente botánica y composición química.

El tratamiento HMT de almidones origina cambios en las regiones amorfas de los gránulos de almidón, que son más accesibles a la hidrólisis. Estas áreas amorfas se degradan más rápidamente por las alfa amilasas que las áreas cristalinas. Según Gunaratne y Hoover (2002), HMT promueve específicamente la disrupción cristalina y la disociación de estructuras helicoidales dobles en la región amorfa, que puede facilitar el ataque de alpha amilasa dentro de los gránulos; por lo que la susceptibilidad enzimática del almidón aumenta con HMT.

Según Chung y otros (2009), el tratamiento HMT puede usarse para aumentar el contenido de almidón resistente en muestras de almidón con alto contenido de amilosa. Reportaron 4.6% y al 10.5% de almidón resistente en muestras de almidón de maíz nativo y modificado HMT (30% de humedad, 100 °C, 24 h) respectivamente.

Finalmente, Jayakody y Hoover (2008) informaron que el almidón resistente puede incorporarse a los alimentos sin alterar su apariencia y textura, en parte debido a su sabor suave y color blanco, lo que le permite ser utilizado como un extensor de grasa o para aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos.

V. CONCLUSIONES

El porcentaje de humedad y la temperatura de tratamiento tuvieron efecto significativo en el tamaño del gránulo, poder de hinchamiento y propiedades térmicas (temperatura, entalpía y porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (HMT) variedad Colparina.

El tratamiento T9 de modificación de almidón HMT (40%; 120 °C) presentó menor poder de hinchamiento y solubilidad, mayor valor de temperatura inicial, pico y final de gelatinización, menor entalpía y mayor grado de gelatinización, por lo que podría recomendarse su aplicación en la formulación de alimentos envasados, congelados, fideos y productos de panificación, como extensor de grasa, para aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos o para preparar películas biodegradables.

VI. RECOMENDACIONES

Investigar sobre las características reológicas y texturales de almidón modificado (HMT).

Investigar sobre la aplicación de almidón modificado (HMT) en la formulación de alimentos envasados, congelados, fideos y productos de panificación.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Olayinka, E. K., y Lawal, O. S. 2005. Effect of heat–moisture treatment and annealing on the physicochemical properties of red sorghum starch. *African Journal of Biotechnology*, 4:928-933.

Alvani, K., Tester, R. F., Chia-Long Lin, C. y Qi, K. 2014. Amylolysis of native and annealed potato starches following progressive gelatinisation. *Food Hydrocolloids*, 36:273-277.

Bertoft, E. y Blennow, A. 2016. Structure of Potato Starch. En: *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Segunda ed. London, UK: Academic Press, p. 728.

Charles, L.A., Chang, H.Y., Ko, C.W., Shiroth, K. y Huang, C. T. 2005. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of Cassava starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:2717-2725.

Chung, H.-J., Hoover, R. y Liua, Q. 2009. The impact of single and dual hydrothermal modifications on the molecular structure and physicochemical properties of normal corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44:203-210.

Chung, H.-J., Liu, Q. y Hoover, R. 2010. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. *Food Research International*, 43:501508.

Da Rosa Zavareze, E. y Guerra, A. R. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83:317–328.

Da Rosa Zavareze, E., Storck, C., Castro, L., Schirmer, M. y Dias, A. 2010. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry*, 121:358-365

Guerra, A., Zavareze, E., Spier, F., Suita de Castro, L. y Gutkoski, L. 2010. Effects of annealing on the physicochemical properties and enzymatic susceptibility of rice starches with different amylose contents. *Food Chemistry*, 123:711-719.

Gomes, A. M. M., Silva, C. E. M., Ricardo, N., Sasaki, J. y Germani, R. 2004. Impact of annealing on the physicochemical properties of unfermented cassava starch (*polvilho doce*). *Starch/Stärke*, 56:419-423.

Gomes, A. M. M., Silva, C. E. M. y Ricardo, N. M. P. S. 2005. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*). *Carbohydrate Polymers*, 60:1-6.

Gunaratne, A. y Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49:425-437.

Hang, L., Xudan, G., Wuxia, L., Xiaofang, W., Manman, I. y Qiang, P. 2015. Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buck wheat starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate Polymers*, 132:237-244.

Hernandez-Medina, M., Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. 2008. Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3):718-726.

Hormdok, R. y Noomhorm, A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Science and Technology*, 4:723-731.

Huang, T. T., Zhou, D. N., Jin, Z. Y., Xu, X. M. y Chen, H. Q. 2016. Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54:202-210.

INIA, 2016. INIA identifica 130 variedades de papa nativa en Comunidad Chugay. *Gestión*, 16 Enero, p. 1.

Jayakody, L. y Hoover, R. 2008. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins – A review. *Carbohydrate Polymers* , 74:691-703.

Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R. y Singh, H. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101:643-651.

Klein, B., Pinto, V., Vanier, N., Zavarezea, E., Colussia, R., Amaral do Evangelhoa, J., Gutkoskib, L. y Guerra, A. 2013. Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of ofrice, cassava, and pinhao starches. *Carbohydrate Polymers*, 98:1578-1584.

Lan, H., Hoover, R., Jayakody, L., Liu, Q., Donner, E. y Baga, M. 2008. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. *Food Chemistry*, 111:663-675.

Li, S., Ward, R. y Gao, Q. 2011. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch. *Food Hydrocolloids*, 25:1702-1709.

Lin, J., Kao, W., Tsai, Y., Chang, Y. 2013. Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers* 98(2):1553-1560.

Liu, Hang, Guo, Xudan, Li, Wuxia, Wang, Xiaofang, Iv, Manman, Peng, Qiang y; Wang, Min. 2015. Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate Polymers*, 132:237-244.

Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A. y Velezmore, C. 2015. Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4):291-301.

Ministerio de Agricultura. 2012. Dirección General de Competitividad Agraria. Cadena agroproductiva de la papa, Lima: Centro de Documentación Agraria-CENDOC.

News Trujillo. 2016. Provincia de Sánchez Carrión lidera producción de papa en región La Libertad. 17 Diciembre, p. 1.

Olayinka, O., Adebawale, K. y Olu-Owolabi, B. 2008. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocolloids*, Volumen 22, pp. 225-230.

Salas, J. y Medina, J. 2008. Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, Issue Mayo, pp. 56-62.

Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E. y Becker, T. 2013. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. *Food Hydrocolloids*, 32:52-63.

Singh, Harinder, Chang, Yung Ho, Lin, Jheng-Hua, Singh, Navdeep y Singh, Narpinder. 2011. Influence of heat moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. *Food Research International*, 44:2949-2954

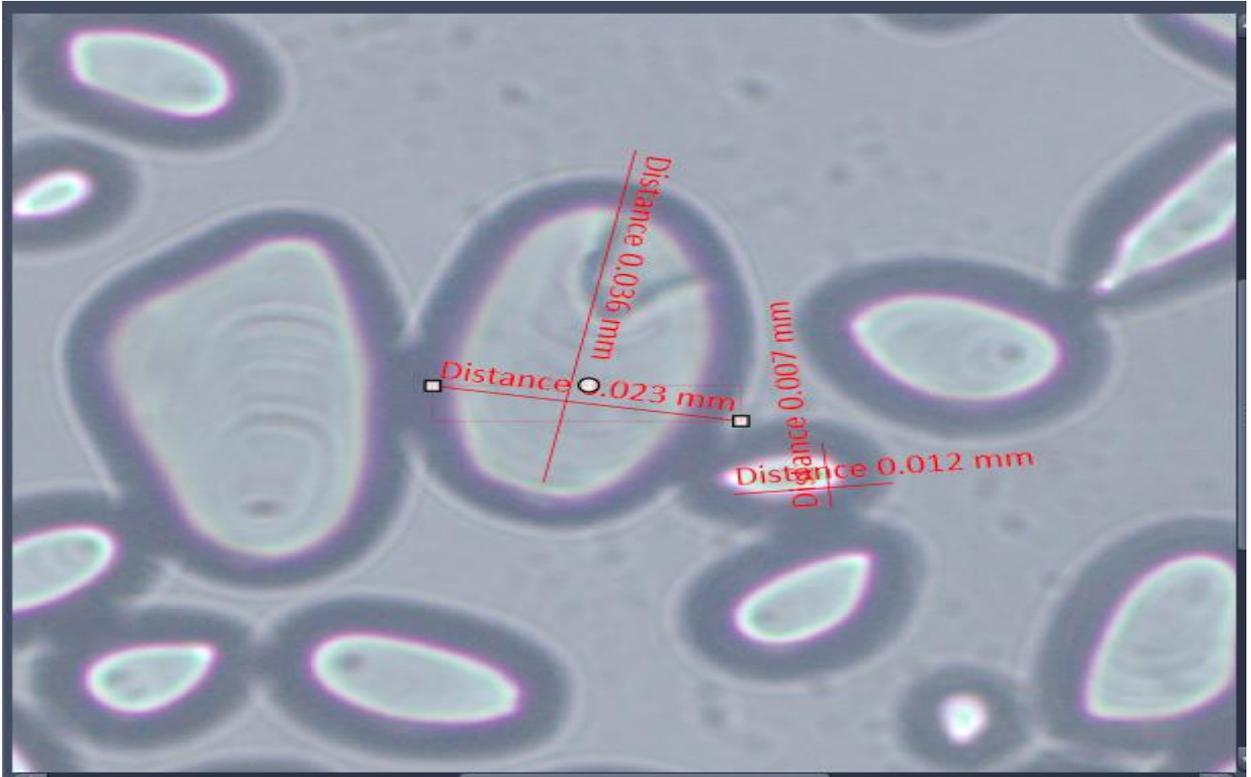
Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O. J. y Kaur, K. 2016. Potato Starch and its Modification. En: *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Second Edition ed. s.l.:Riddet Institute and Massey Institute of Food Science and Technology, Massey University, p. 728.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N. y Singh Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81:219-231.

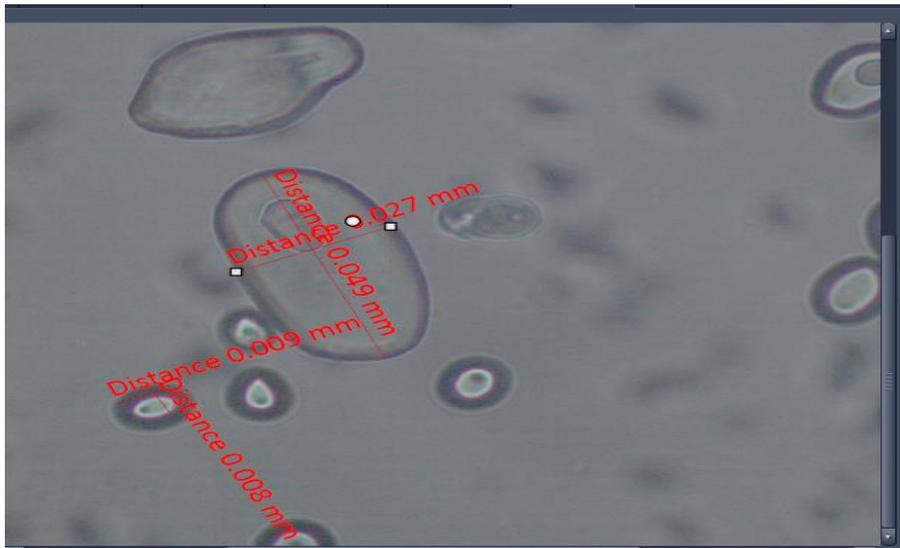
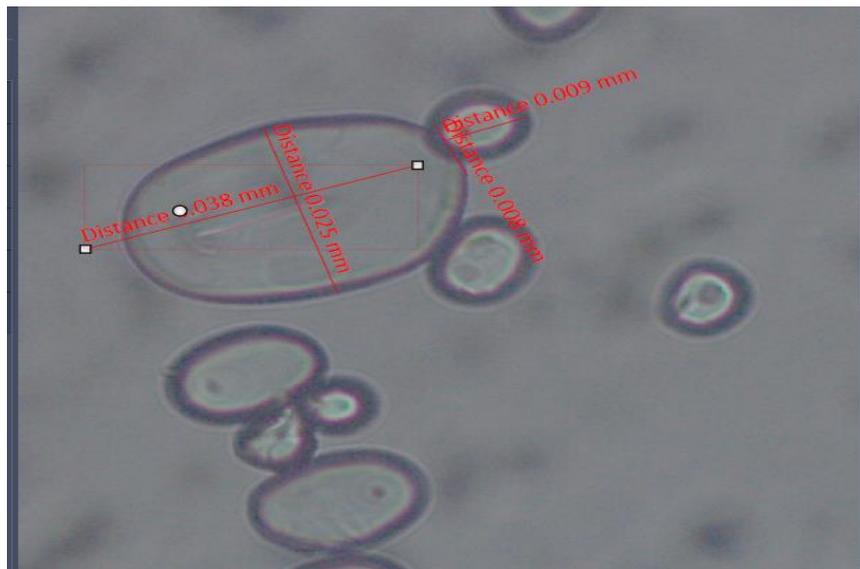
- Sui, Z., Yao, T., Zhao, Y., Ye, X., Kong, X. y Ai, L. 2015. Effects of heat–moisture treatment reaction conditions on the physicochemical and structural properties of maize starch: Moisture and length of heating. *Food Chemistry*, Volumen 173, pp. 1125-1132.
- Sun, T., Laerke, H., Jorgensen, H. y Batch-Knudsen, K. 2006. The effect of heat processing of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 13:66-85.
- Tapia, M. y Fries, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos, Roma: Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación. Asociación Nacional de Productores Ecológicos.
- Tester, R. F. y Debon, S. F. F. 2000. Annealing of starch - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 27:1-12.
- Tharanathan, R. 2005. Starch-value addition by modification. *Food Science and Nutrition* , 45:371-384.
- Vamadevan, V. y Bertoft, E. 2015. Structure-function relationships of starch components. *Starch*, 26:55–68.
- Vargas, G. 2015. Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (*Solanum tuberosum*), (var. Única) para su aplicación en un helado soft, Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Waduge, R. N., Hoover, R., Vasanthan, T., Gao, J. y Li, J. 2006. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. *Food Research International*, 39:59-77.
- Xie, S. X., Qiang Liu, Q. y Cui, S. W. 2005. Starch Modification and Applications. En: *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications*. Steve W. Cui Ed. Boca Raton, Florida, USA: Taylor y Francis Group, p. 411.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Forma y Tamaño del granulo de almidón nativo papa nativa variedad Colparina



Anexo 2. Forma y tamaño de los gránulos de almidón modificado

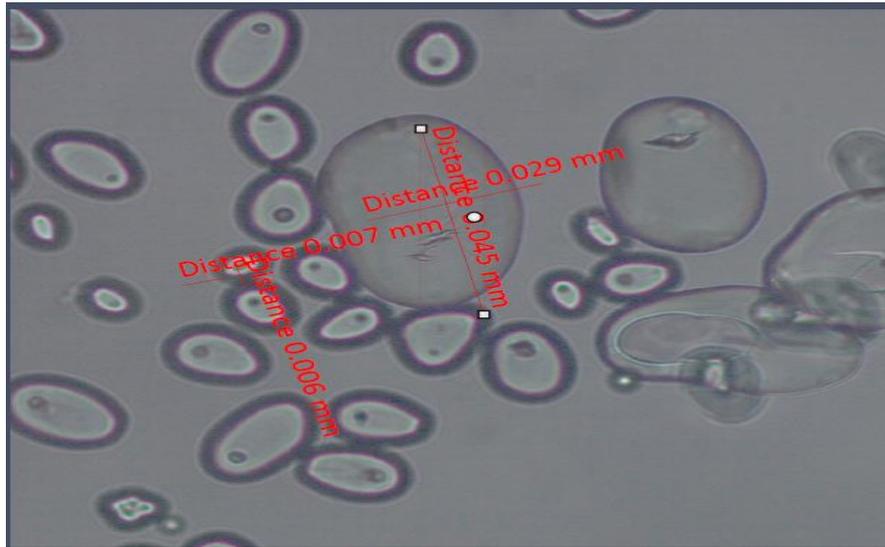
T₁R₁ (T°: 100°C; H: 20%)T₁R₂ (T°:100°C; H: 20%)

T: Tratamiento

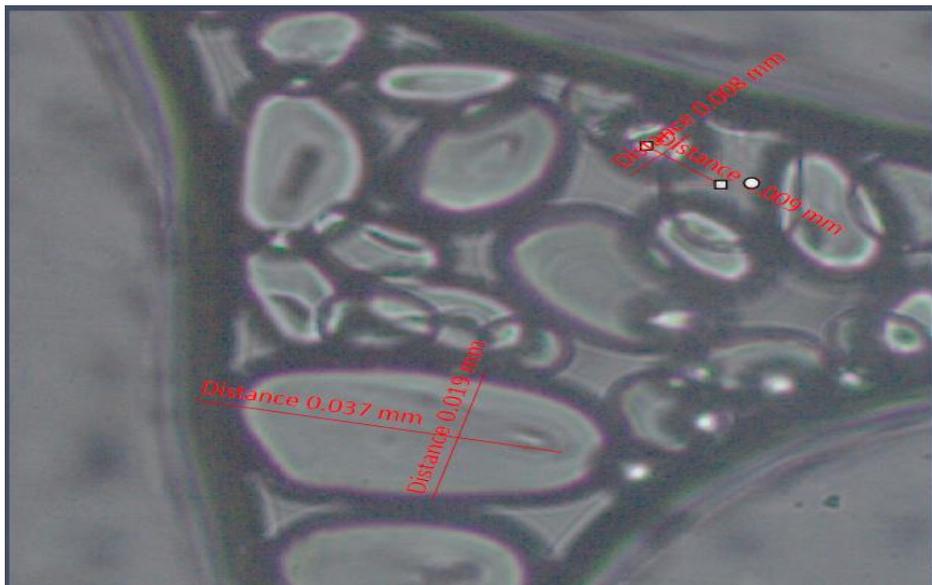
R: Repetición

T°: Temperatura de incubación (°C)

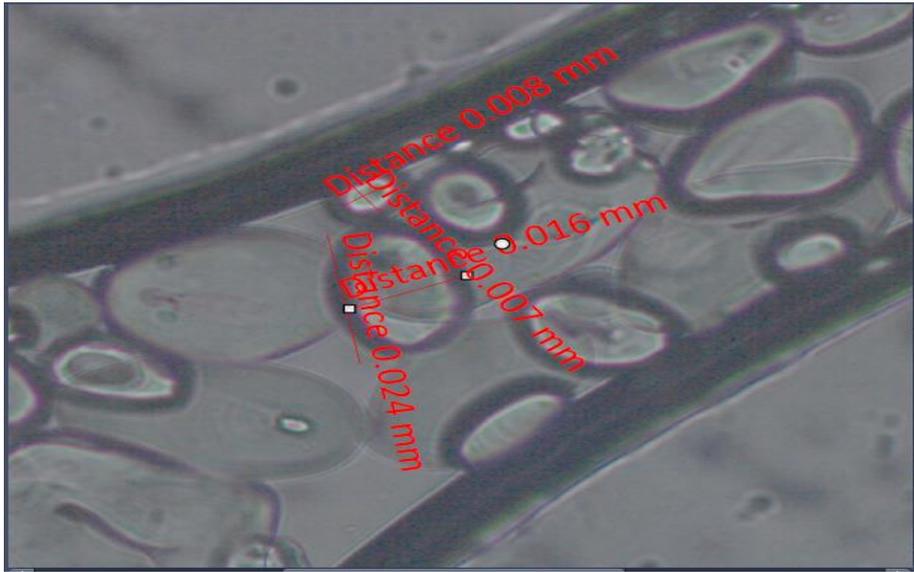
H: Humedad (%)



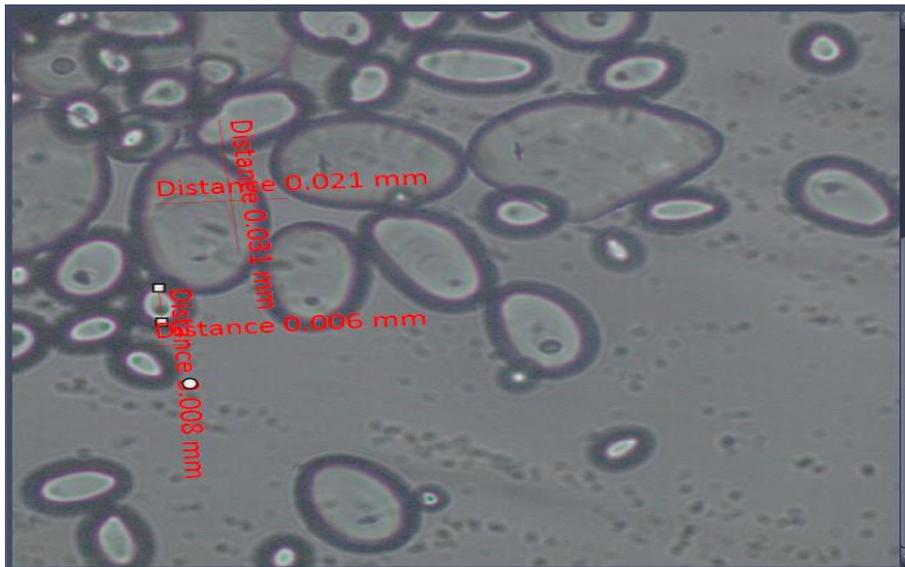
T_1R_1 (T° : 100°C; H: 30%)



T_1R_2 (T° : 100°C; H: 30%)



T₁R₁ (T°: 100°C; H: 40%)



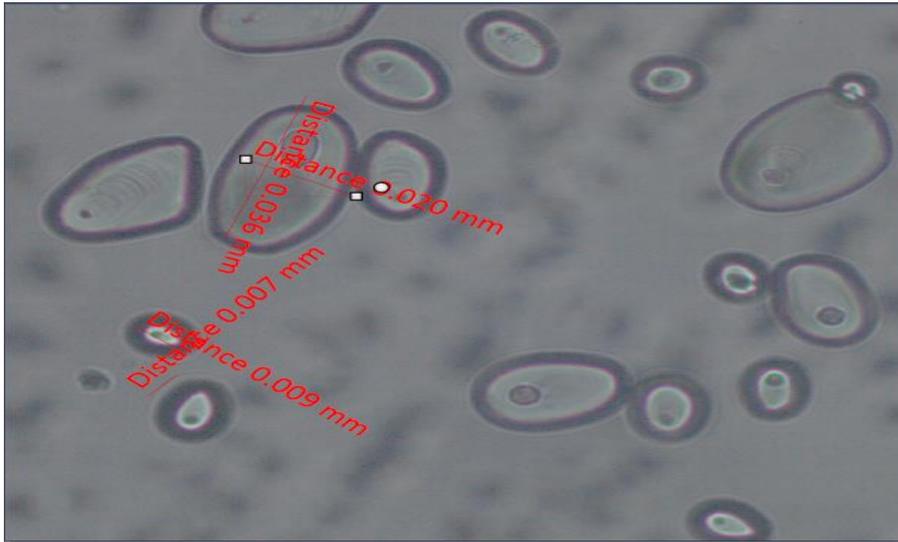
T₁R₂ (T°: 100°C; H: 40%)



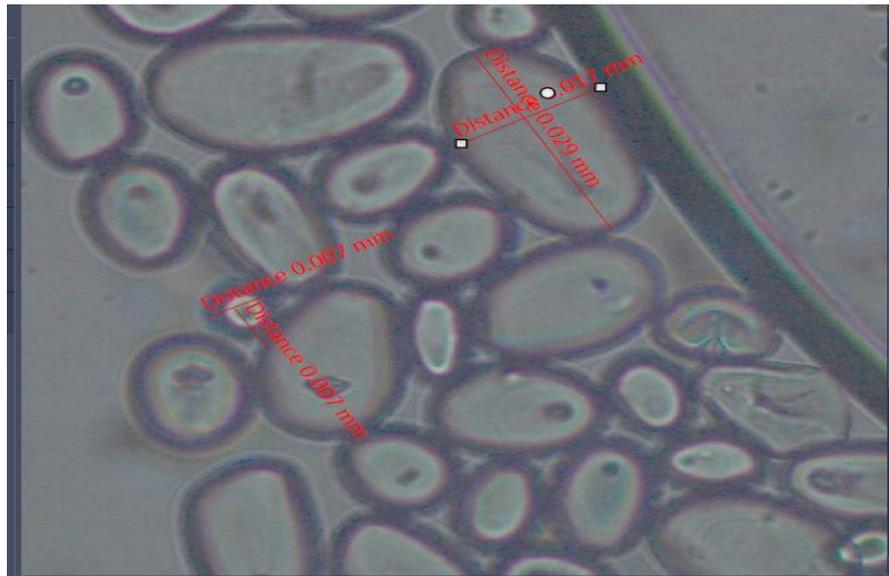
T₂R₁ (T°: 110°C; H: 20%)



T₂R₂ (T°: 110°C; H: 20%)



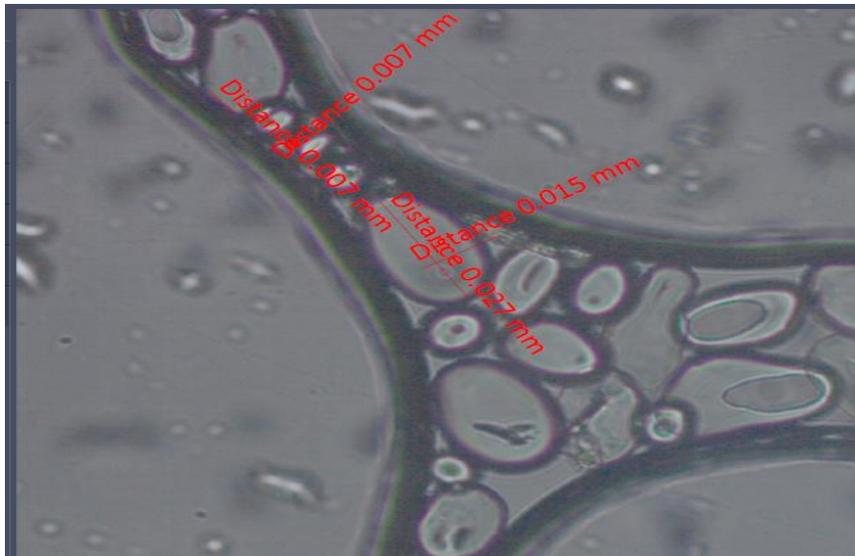
T₂R₁ (T°: 110°C; H: 30%)



T₂R₂ (T°: 110°C; H: 30%)



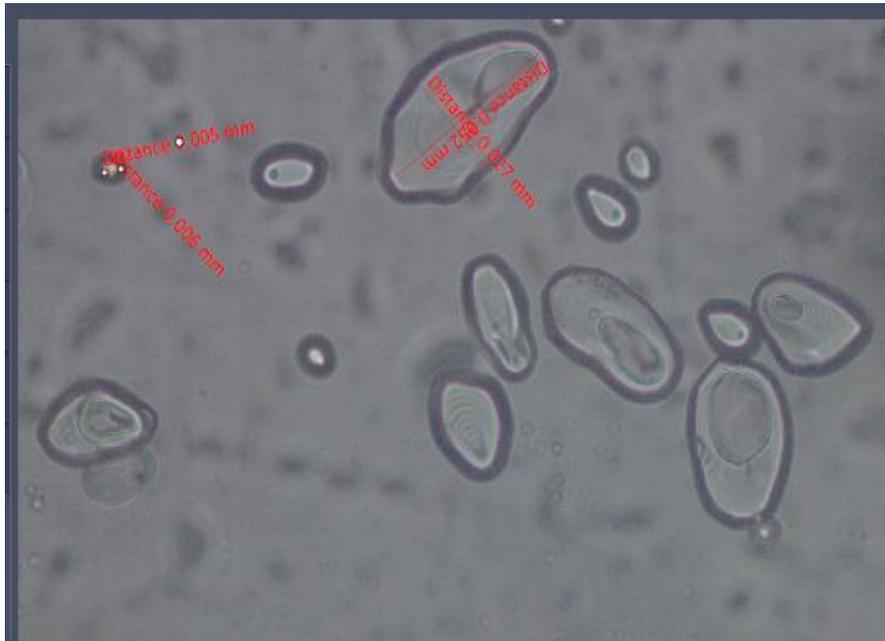
T₂R₁ (T°: 110°C; H: 40%)



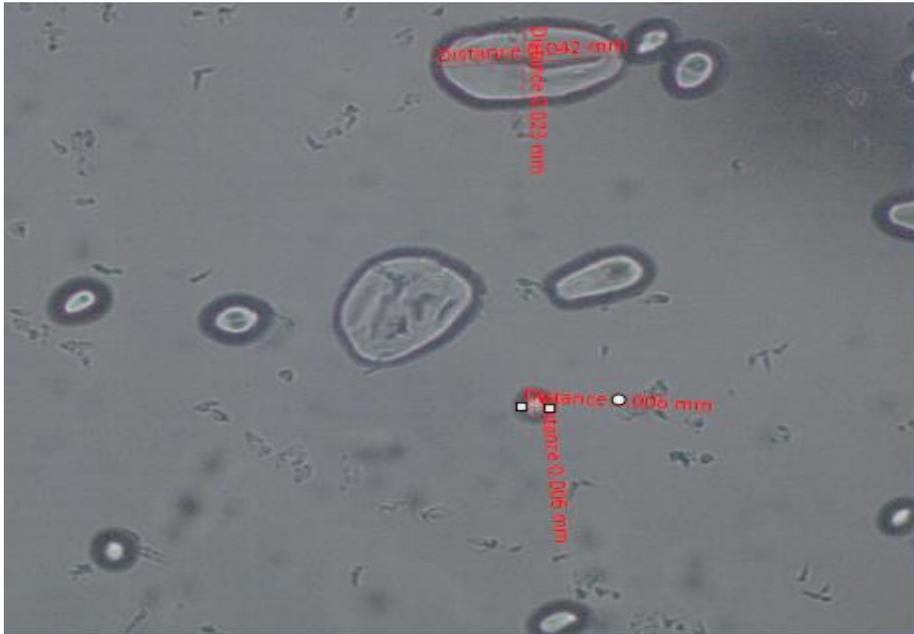
T₂R₂ (T°: 110°C; H: 40%)



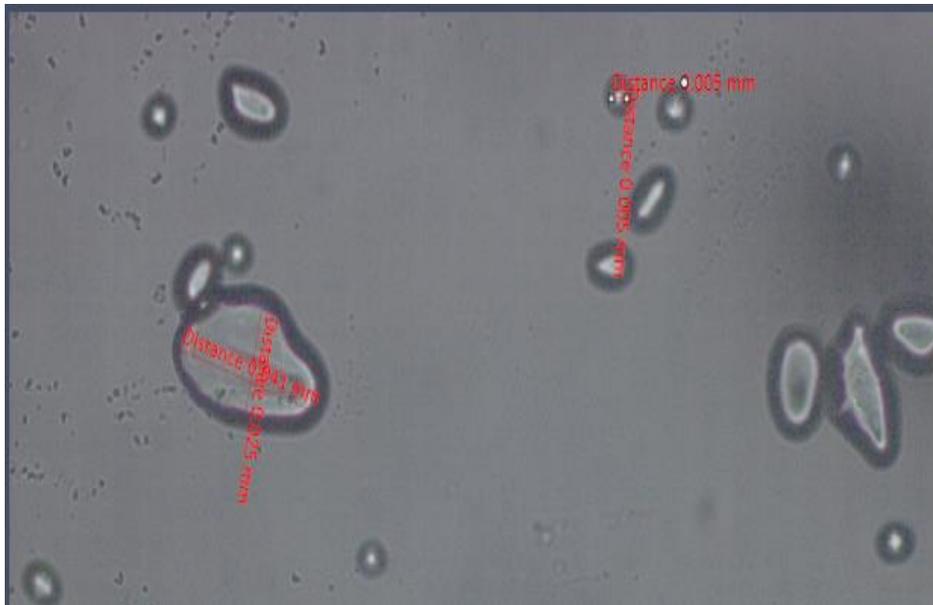
T_3R_1 (T° : 120°C; H: 20%)



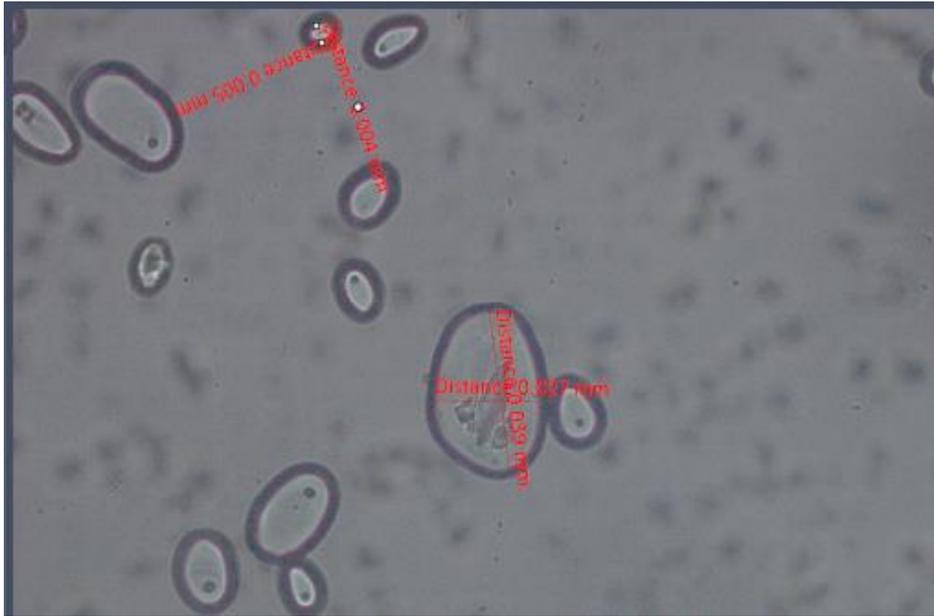
T_3R_2 (T° : 120°C; H: 20%)



T₃R₁ (T°: 120°C; H: 30%)



T₃R₂ (T°: 120°C; H: 30%)



T₃R₁ (T°: 120°C; H: 40%)



T₃R₂ (T°: 120°C; H: 40%)

Anexo 3. Datos de Tamaño de los gránulos de almidón nativo y modificado

H (%)	T (°C)	(*) R	(**) DM (µm)	(***) Dm (µm)	DM (µm)	Dm (µm)
0	0	0	36.000	23.000	12.000	7.000
20	100	R ₁	49.000	27.000	9.000	8.000
20	100	R ₂	38.000	25.000	9.000	8.000
20	110	R ₁	40.000	27.000	14.000	11.000
20	110	R ₂	40.000	24.000	8.000	6.000
20	120	R ₁	53.000	33.000	5.000	5.000
20	120	R ₂	52.000	27.000	6.000	5.000
30	100	R ₁	45.000	29.000	7.000	6.000
30	100	R ₂	37.000	19.000	9.000	8.000
30	110	R ₁	36.000	20.000	9.000	7.000
30	110	R ₂	29.000	17.000	7.000	7.000
30	120	R ₁	42.000	23.000	6.000	6.000
30	120	R ₂	41.000	25.000	5.000	5.000
40	100	R ₁	24.000	16.000	8.000	7.000
40	100	R ₂	31.000	21.000	8.000	6.000
40	110	R ₁	24.000	16.000	6.000	4.000
40	110	R ₂	27.000	15.000	7.000	7.000
40	120	R ₁	39.000	27.000	5.000	4.000
40	120	R ₂	35.000	27.000	6.000	5.000

(*) = Repetición

(**) = Diámetro Mayor

(***) = Diámetro Menor

Anexo 4. Solubilidad y poder de hinchamiento de almidón nativo y modificado

Temperatura (%)	Humedad (%)	Solubilidad	Poder de hinchamiento
	Control	13.30	7.92
	Control	13.58	8.01
	Control	14.01	8.12
	Promedio	13.63	8.02
100	20	6.67	12.79
100	20	6.67	12.32
100	20	6.67	12.10
	Promedio	6.67	12.40
100	30	3.33	9.76
100	30	3.33	9.65
100	30	3.33	9.24
	Promedio	3.33	9.55
100	40	3.33	9.65
100	40	3.33	9.55
100	40	3.33	9.03
	Promedio	3.33	9.41
110	20	6.67	11.39
110	20	6.67	11.21
110	20	6.67	11.00
	Promedio	6.67	11.20
110	30	3.33	8.99
110	30	3.33	8.75
110	30	6.67	8.21
	Promedio	4.44	8.65
110	40	3.33	8.21
110	40	3.33	8.18
110	40	6.67	8.04
	Promedio	4.44	8.14
120	20	6.67	9.92
120	20	6.67	9.51
120	20	6.67	9.74
	Promedio	6.67	9.72
120	30	3.33	7.86
120	30	3.33	7.51
120	30	3.33	7.17
	Promedio	3.33	7.51
120	40	3.33	7.24

69

120	40	3.33	7.13
120	40	3.33	7.00
Promedio		3.33	7.12

Anexo 5. Propiedades térmicas del almidón nativo y modificado

Temperatura (%)	Humedad (%)	ΔH (J/g)*	Temperatura inicial	Temperatura pico	Temperatura final	Grado de gelatinización
	Control	14.82	59.62	63.23	69.34	0.00
	Control	15.20	59.74	62.52	67.18	0.00
	Control	15.58	59.62	62.18	67.12	0.00
	Promedio	15.20	59.66	62.64	67.88	0.00
100	20	12.14	60.91	67.82	74.55	20.11
100	20	12.00	60.94	67.80	74.56	21.05
100	20	12.26	60.90	67.79	74.58	19.34
	Promedio	12.13	60.92	67.80	74.56	20.17
100	30	11.14	61.72	68.31	76.96	26.68
100	30	11.00	61.69	68.32	76.95	27.63
100	30	11.24	61.74	68.34	76.92	26.05
	Promedio	11.13	61.72	68.32	76.94	26.79
100	40	10.30	62.82	70.31	77.94	32.26
100	40	10.31	62.81	70.28	77.92	32.17
100	40	10.33	62.84	70.30	77.93	32.04
	Promedio	10.31	62.82	70.30	77.93	32.16
110	20	9.98	61.59	64.23	75.22	34.31
110	20	9.91	61.60	64.21	75.21	34.80
110	20	9.99	61.57	64.25	75.24	34.28
	Promedio	9.96	61.59	64.23	75.22	34.46
110	30	6.56	62.27	69.22	78.18	56.87
110	30	6.48	62.14	69.25	78.18	57.37
110	30	6.58	62.31	69.23	78.12	56.71
	Promedio	6.54	62.24	69.23	78.16	56.98
110	40	5.56	62.99	71.22	79.15	63.44
110	40	5.52	63.00	71.23	79.11	63.68
110	40	5.58	63.04	71.25	79.14	63.29
	Promedio	5.55	63.01	71.23	79.13	63.47
120	20	6.71	61.92	66.32	79.43	55.86
120	20	6.89	61.89	66.32	79.43	54.67
120	20	6.68	61.88	66.30	79.44	56.05
	Promedio	6.76	61.90	66.31	79.43	55.53
120	30	5.83	62.79	71.47	80.07	61.68
120	30	5.81	62.78	71.48	80.05	61.78
120	30	5.85	62.80	71.49	80.04	61.51

Promedio		5.83	62.79	71.48	80.05	61.66
120	40	5.13	63.15	72.47	82.70	66.28
120	40	5.12	63.21	72.48	82.71	66.32
120	40	5.06	63.18	72.51	82.72	66.71
Promedio		5.10	63.18	72.49	82.71	66.44

Anexo 6. Medición de la entalpía mediante el Termograma con el software NanoAnalyze (TA Instruments, New Castle, DE, USA).

Temperatura (%)	Humedad (%)	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Diámetro mayor	Diámetro menor	ΔH (J/g)*	Temperatura inicial	Temperatura pico	Temperatura final	Grado de gelatinización
Control		13.30	7.92	29.00	7.00	14.82	59.62	63.23	69.34	0.00
Control		13.58	8.01	33.00	9.00	15.20	59.74	62.52	67.18	0.00
Control		14.01	8.12	28.00	11.00	15.58	59.62	62.18	67.12	0.00
Promedio		13.63	8.02	30.00	9.00	15.20	59.66	62.64	67.88	0.00

