UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

EFECTO DEL PORCENTAJE DE LA SUSPENSIÓN Y TEMPERATURA DE INCUBACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDÓN DE PAPA (*Solanun Tuberosum* L.) MODIFICADO (ANN) VARIEDAD YUNGAY

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

VANESSA LISSET ESPINOZA AGREDA

TRUJILLO, PERÚ

2017

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

Ing. Dr. Fredy Pérez Azahuanche

PRESIDENTE

Ing. Dr. José Soriano Colchado

SECRETARIO

Ing. Max Vásquez Senador

VOCAL

Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui

ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mi padre Enrique, que aunque no esté físicamente, me guía, protege y bendice desde el cielo, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi madre Judith, por demostrarme su cariño y apoyo incondicional en todo momento, y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla.

A mis hermanas, Ángela y Jessica, que siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo y porque son también una gran razón para alcanzar mis metas.

A mi abuelita Aurea, mi segunda madre, por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida.

A mi familia y amigos en general, porque me han brindado todo su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de obtener otro logro para mi crecimiento personal y profesional, y darme salud y fortaleza para cumplir esta meta.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesora, la Ing. Ms. Gabriela Barraza Jáuregui por la confianza depositada en mí; por el gran apoyo profesional, por su permanente disposición, por sus acertados aportes y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia que permitieron el desarrollo de mi tesis.

A los miembros del jurado Dr. Freddy Pérez Azahuanche, Dr. José Soriano Colchado e Ing. Max Vásquez Senador por sus observaciones y sugerencias para mejora durante la evaluación de este trabajo de investigación.

También agradecer al personal de laboratorio, quienes me brindaron su tiempo, conocimiento y apoyo para la realización de la parte experimental de esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a mi prima Nicole y mis amigas Sandra y Yuli que colaboraron en la realización de este trabajo de investigación y que estuvieron siempre apoyándome y alentándome cada día y que no dejaron que perdiera fuerzas para seguir con este largo camino.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

CARÁTULA…….....i

APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS……..ii

DEDICATORIA……iii

AGRADECIMIENTO…….....iv

ÍNDICE GENERAL……....v

ÍNDICE DE CUADROS…….vii

ÍNDICE DE FIGURAS……ix

ÍNDICE DE ANEXOS…….....x

RESUMEN……...xi

ABSTRACT……xii

I. INTRODUCCIÓN…….....1

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA…….....4

2.1. Generalidades…….....4

2.2. Variedades de papa…….....5

2.3. Industrialización de la papa……..5

2.4. Composición química de la papa……7

2.5. Almidón de papa……7

2.5.1. Propiedades funcionales……..9

2.5.2. Propiedades térmicas…….10

2.6. Almidones modificados……..11

2.7. Modificación física del almidón…….12

2.7.1. Almidón pre gelatinizado……12

2.7.2. Almidón tratado con calor húmedo (HMT)……13

2.7.3. Almidón Recocido (ANN)…….....14
III. MATERIALES Y MÉTODOS……15
3.1. Lugar de ejecución……..15
3.2. Materiales y equipos……...15
3.3. Método experimental de la investigación en almidón de papa……..16
3.3.1. Esquema experimental de la investigación en almidón de papa……16
3.3.2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón nativo……18
3.3.3. Elaboración del almidón recocido……21
3.4. Métodos de análisis……21
3.4.1. Forma y tamaño de los gránulos……..21
3.4.2. Poder de hinchamiento y solubilidad……21
3.4.3. Temperatura y entalpía de gelatinización……22
3.4.4. Grado de gelatinización……..22
3.5. Análisis estadístico……23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……24
4.1. Almidón nativo……24
4.1.1. Características físicas……24
4.1.2. Propiedades térmicas……25
4.2. Almidón modificado tipo ANN……26
4.2.1. Características físicas……26
4.2.2. Propiedades térmicas……34
4.2.3. Grado de gelatinización……..43
V. CONCLUSIONES……...48
VI. RECOMENDACIONES……..49
VII. BIBLIOGRAFÍA……...50
VIII. ANEXOS……..56

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.	Variedades comerciales de papa en el Perú……	6
Cuadro 2.	Codificación de los tratamientos evaluados…….	16
Cuadro 3.	Prueba de Levene modificada para valores de tamaño de gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……..	27
Cuadro 4.	Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……..	28
Cuadro 5.	Prueba de Levene modificada para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……	30
Cuadro 6.	Análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……..	31
Cuadro 7.	Análisis de varianza para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……..	31
Cuadro 8.	Prueba de Duncan para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (AAN) variedad Yungay……..	32
Cuadro 9.	Prueba de Duncan para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….....	32
Cuadro 10.	Prueba de Levene modificada para valores de propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……..	38

Cuadro 11. Análisis de varianza para valores de propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 39

Cuadro 12. Prueba de Duncan para valores de temperatura inicial de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 40

Cuadro 13. Prueba de Duncan para valores de temperatura pico de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…… 40

Cuadro 14. Prueba de Duncan para valores de temperatura final de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 41

Cuadro 15. Prueba de Duncan para valores de entalpía de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 41

Cuadro 16. Prueba de Levene modificada para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 44

Cuadro 17. Análisis de varianza para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 45

Cuadro 18. Prueba de Duncan para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay…….. 46

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Esquema experimental para el estudio de las características físicas y propiedades térmicas del almidón de papa modificado (ANN)……	17
Figura 2	Diagrama de flujo para la elaboración de almidón de papa……	20
Figura 3.	Tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……...	26
Figura 4.	Poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……...	29
Figura 5.	Solubilidad de almidón de papa (ANN) variedad Yungay……...	29
Figura 6.	Temperatura inicial de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)……	34
Figura 7.	Temperatura pico de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)……	35
Figura 8.	Temperatura final de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)……	35
Figura 9.	Entalpía de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)……	36
Figura 10.	Grado de gelatinización del almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay……...	43

ÍNDICE DE ANEXOS

		Pág.
Anexo 1.	Diagrama de flujo para la elaboración del almidón modificado (ANN)……..	57
Anexo 2.	Forma y tamaño del gránulo de almidón nativo.....	58
Anexo 3.	Forma y tamaño de los gránulos de almidón modificado……..	59
Anexo 4.	Datos de Tamaño de los gránulos de almidón nativo y modificado …….	68
Anexo 5.	Propiedades térmicas del almidón de papa modificado (ANN)……..	69

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión y la temperatura de incubación en las características físicas (forma y 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 (ANN). Para elaborar las muestras de almidón recocido (ANN) se prepararon suspensiones de almidón extraído de papa variedad Yungay, a tres concentraciones (20, 30 y 40 % p/p) para luego ser incubadas a tres temperaturas (40, 50 y 60 °C) durante 8 horas. Las muestras tratadas, posteriormente fueron centrifugadas (4000 rpm) durante 15 min. Los almidones recocidos se lavaron una vez con agua destilada y se secaron 37 ºC durante 24 horas, luego se envasaron en frascos de vidrio de 250 g de capacidad y almacenaron a temperatura ambiente para su posterior análisis. El análisis estadístico indicó que el porcentaje de la suspensión y la temperatura de incubación tuvieron efecto significativo en las propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) y no en las características físicas (tamaño y forma del gránulo). No se encontró efecto significativo del porcentaje de la suspensión sobre poder de hinchamiento y solubilidad. El tratamiento T9 (40%; 60 °C) presentó el mayor poder de hinchamiento y el tratamiento T6 mayor solubilidad (sin diferencia significativa con el tratamiento T9). Las muestras de almidón ANN tratadas a la temperatura de 60 ºC (T7, T8 Y T9) mostraron mayores valores de Ti, Tp y Tf de gelatinización que el almidón nativo. Adicionalmente todos los tratamientos mostraron un incremento de los valores de entalpía de gelatinización, con respecto al almidón nativo (16.52±0.82 J/g), con excepción de las muestras sometidas a la temperatura de incubación de 60 °C.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of suspension percentage and incubation temperature on the physical characteristics (granule shape and size, swelling power and solubility) and thermal properties (gelatinization temperature and enthalpy, percentage of gelatinization) of modified potato starch (ANN). To prepare samples annealed starch (ANN) suspensions of starch extracted from Yungay variety potato were prepared, at three concentrations (20, 30 and 40% w/w) and then incubated at three temperatures (40, 50 and 60 °C) for 8 hours. The treated samples then were centrifuged (4000 rpm) for 15 min. The annealed starches were washed once with distilled water and dried at 37 °C for 24 hours, then packed in glass jars of 250 g capacity and stored at room temperature for further analysis. Statistical analysis indicated that the percentage of the suspension and the incubation temperature had a significant effect on the thermal properties of modified potato starch (ANN) and not on the physical characteristics (size and shape of the granule). No significant effect of the percentage of the suspension on swelling and solubility was found. The T9 treatment (40%; 60 °C) had the greatest swelling power and the T6 treatment had greater solubility (with no significant difference with the T9 treatment). The ANN starch samples treated at 60 °C (T7, T8 and T9) showed higher values of Ti, Tp and Tf gelatinization than native starch. In addition, all treatments showed an increase in the gelatinization enthalpy values, with respect to the native starch (16.52 ± 0.82 J/g), except for the samples subjected to the incubation temperature of 60 °C.

I. INTRODUCCIÓN

La Libertad ocupa el cuarto lugar en la producción nacional de papa con 407,880 toneladas en 18,475 hectáreas de siembras y un rendimiento promedio de 17,874 kilogramos por hectárea. En esta condición superó y desplazó al departamento de Junín al quinto lugar, según la Oficina de Información Agraria de la Gerencia Regional de Agricultura (Gobierno Regional de la Libertad, 2014). 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 Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) 130 variedades, muchas de ellas, con potencial para su consumo, industrialización e investigación (INIA, 2016).

Las principales regiones productoras de papa en el año 2014 fueron Puno, Huánuco, La Libertad, Junín y Cuzco que juntos aportan con el 54.4% de la producción nacional. El área instalada fue aproximadamente de 317,245 ha con un rendimiento promedio de 14.79 t/ha. Se logró una producción de 4 693,209 t, representando un incremento del 2.70% con respecto al año inmediato anterior, registrándose un consumo per cápita de 85 kg/persona al año. Nuestro país tiene la mayor diversidad de papa en el mundo, cuenta con más de dos mil variedades, registra ocho especies nativas domesticadas además 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi todo nuestro continente. Las variedades más comunes de la papa en el mercado interno son: canchán, tomasa, amarilla, huairo, tarmeña, huamantanga, negra, peruanita, perricholi, coctel. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el número de productores de papa entre los censos agropecuarios 1994 y 2012 mostraron un incremento de 5.8% pasando de 599 mil 172 a 633 mil

923 productores en el 2012. Asimismo, la superficie sembrada se elevó en 7.6% (Ministerio de Agricultura, 2015).

Uno de los principales productos de la industrialización de la papa es el almidón. Sin embargo, los almidones nativos tienen muchas desventajas para aplicaciones industriales tales como su insolubilidad en agua fría y la pérdida de viscosidad y el poder de espesamiento después de la cocción. Además, la retrogradación ocurre después de la pérdida de la estructura ordenada de la gelatinización del almidón, lo que resulta en la sinéresis o exudación de agua. Sin embargo, estas deficiencias del almidón nativo podrían superarse, por ejemplo, mediante la modificación física de la molécula de almidón. Esta modificación altera sus propiedades, incluyendo la viscosidad de las pastas de almidón, el comportamiento de asociación, y la estabilidad en la vida útil de los productos finales, estabiliza los gránulos de almidón durante el procesamiento y hace que el almidón sea adecuado para numerosas aplicaciones alimentarias e industriales (Xie y otros, 2005).

Por lo que nuevas funcionalidades del almidón modificado deben ser conocidas para sugerir posibles aplicaciones y emplearlos en la industria alimentaria y así dar un valor agregado a variedades de papa nativa con potencial para industrialización, lo que representaría un mayor ingreso para la región.

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto del porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) y la temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C) en las características físicas (forma y 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 (ANN)?

Los objetivos propuestos para esta investigación fueron los siguientes:

Evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) y la temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C) en las características físicas (forma y 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 (ANN).

Determinar el porcentaje de la suspensión y la temperatura de incubación que permitan obtener las características físicas (forma y 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 (ANN) más adecuadas.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Generalidades

La papa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas. Se originó y fue domesticada por primera vez en las montañas de los Andes de América del Sur. Es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo después del arroz y el trigo, en términos de consumo humano. Es un tubérculo cuyo valor nutritivo ha sido subestimado. También contiene cantidades significativas de vitamina C y vitamina B6; el porcentaje de grasas en la papa es muy bajo, virtualmente es libre de grasa y es de baja densidad energética. Contiene cantidades moderadas de fósforo, cloro, azufre, magnesio y hierro y la cáscara contiene potasio. El 75% de la materia seca es almidón y 15% proteína. El Perú cuenta con una variabilidad genética que puede ser aprovechada para obtener subproductos; así se puede elaborar hojuelas, papas fritas en tiras, puré, almidón, precocidos y congelados, chuño y papa seca. Sin embargo, según reportes del MINAG, en el Perú solo el 4% de la producción de papa es destinado para la industrialización (Martínez, 2007).

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). Se caracteriza por una baja estabilidad térmica, susceptibilidad a condiciones extremas de pH y fuerzas de cizallamiento, así como las características reológicas inapropiadas de pastas y geles. Además, presentan tendencia a la retrogradación y sinéresis y baja estabilidad en ciclos de congelación (Miyazaki y otros, 2006).

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. 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).

El problema principal en la producción de papas en la sierra norte es la incidencia de la enfermedad conocida como rancha *(Phytophthora infestans)*, de allí la preferencia por las variedades tolerantes como Liberteña, Amarilis y Cholanday (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. Adicionalmente, las papas nativas, producto competitivo y diferenciado de nuestro país, está siendo tomado en cuenta por exportadores nacionales e importadores extranjeros de Europa, principalmente la papa amarilla Tumbay. 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, 2015).

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, Huánuco, 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 Atahualpa, Porcón, Cajamarca, 1993

EE: Estación Experimental
Fuente: Tapia y Fries (2007)

2.4. Composición química de la papa

La papa es una excelente fuente de hidratos de carbono y contiene cantidad significativa de proteína, ácido ascórbico y otras vitaminas, sustancias fenólicas y minerales como el fósforo, potasio y calcio. Su composición química varía con la variedad, la temporada de crecimiento, tipo de suelo, y condiciones de almacenamiento y la composición química del almidón, polisacáridos no almidón, azúcar y proteínas influyen en las propiedades funcionales de los productos elaborados a base de papa (Donner y otros, 2009).

El contenido de almidón en la papa varía con el cultivar y la etapa de crecimiento de la planta y oscila entre 66% y 80% sobre una base de peso en seco. Es el mayor componente de la papa, exhibiendo elevado poder de hinchamiento y viscosidad de pasta, con excelentes propiedades de formación de película y mezcla (Chung y otros, 2014).

La composición, estructura y propiedades del almidón de papa son esencialmente afectadas por factores genéticos así como las condiciones ambientales del cultivo. Ha sido informado de que el aumento de la temperatura de crecimiento conduce a una mayor temperatura de fusión del almidón, debido a que la temperatura elevada de crecimiento, muestra un efecto paralelo al mecanismo de recocido en almidón, que a su vez provoca un cambio en la longitud de doble hélice, espesor de la lámina cristalina y rigidez de la región amorfa (Protserov y otros, 2002).

2.5. 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 el 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).

Curiosamente, 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).

2.5.1. Propiedades funcionales

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 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).

2.5.2. 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, Ti; pico, Tp;

final, Tf) y la entalpía de gelatinización (ΔHgel) 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 Tf, todas las dobles hélices de amilopectina están disociadas, 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).

2.6. 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).

2.7. Modificación física del almidón

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

2.7.1. 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 aspersión, 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).

2.7.2. 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 encima de la temperatura de transición vítrea pero 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, 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 se alteran de tipo A a B (o 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 (ΔHgel). 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).

2.7.3. 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 hidrolisis 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 (20 kg) variedad Yungay procedente del distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad
- Material de vidrio
- Material de plástico
- Tamiz 100µ
- 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 +10ºC a + 100ºC, precisión +0.1 – 1ºC.
- Centrífuga. Marca HERAEUS SEPATECH, modelo Labofuga 200, rango 100-530 rpm. Capac. 12 tubos x 15 mL.
- Licuadora industrial marca Metal Mecánica Agroindustria. Velocidad 500 rpm.
- Agitador Magnetic Stirrer MMS-3000. Marca Boeco, Germany.
- Estufa. Marca MEMMERT, modelo UNE-300 Rango 20ºC, precisión 0.5ºC.
- Cocina eléctrica. Marca Selecta.

- Microscopio de luz.
- Termómetro digital. Marca Multidigital. Rango -10 a 100. Precisión ±0.1 ºC.
- Micro calorímetro diferencial de barrido (MCDSC TA Instruments).

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 (ANN).

Son variables independientes: porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) almidón/agua y temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C); y variables dependientes: las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN).

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

Cuadro 2. Codificación de los tratamientos evaluados

Tratamiento	% Suspensión	T incubación(ºC)
T1	20.0	40.0
T2	20.0	50.0
T3	20.0	60.0
T4	30.0	40.0
T5	30.0	50.0
T6	30.0	60.0
T7	40.0	40.0
T8	40.0	50.0
T9	40.0	60.0

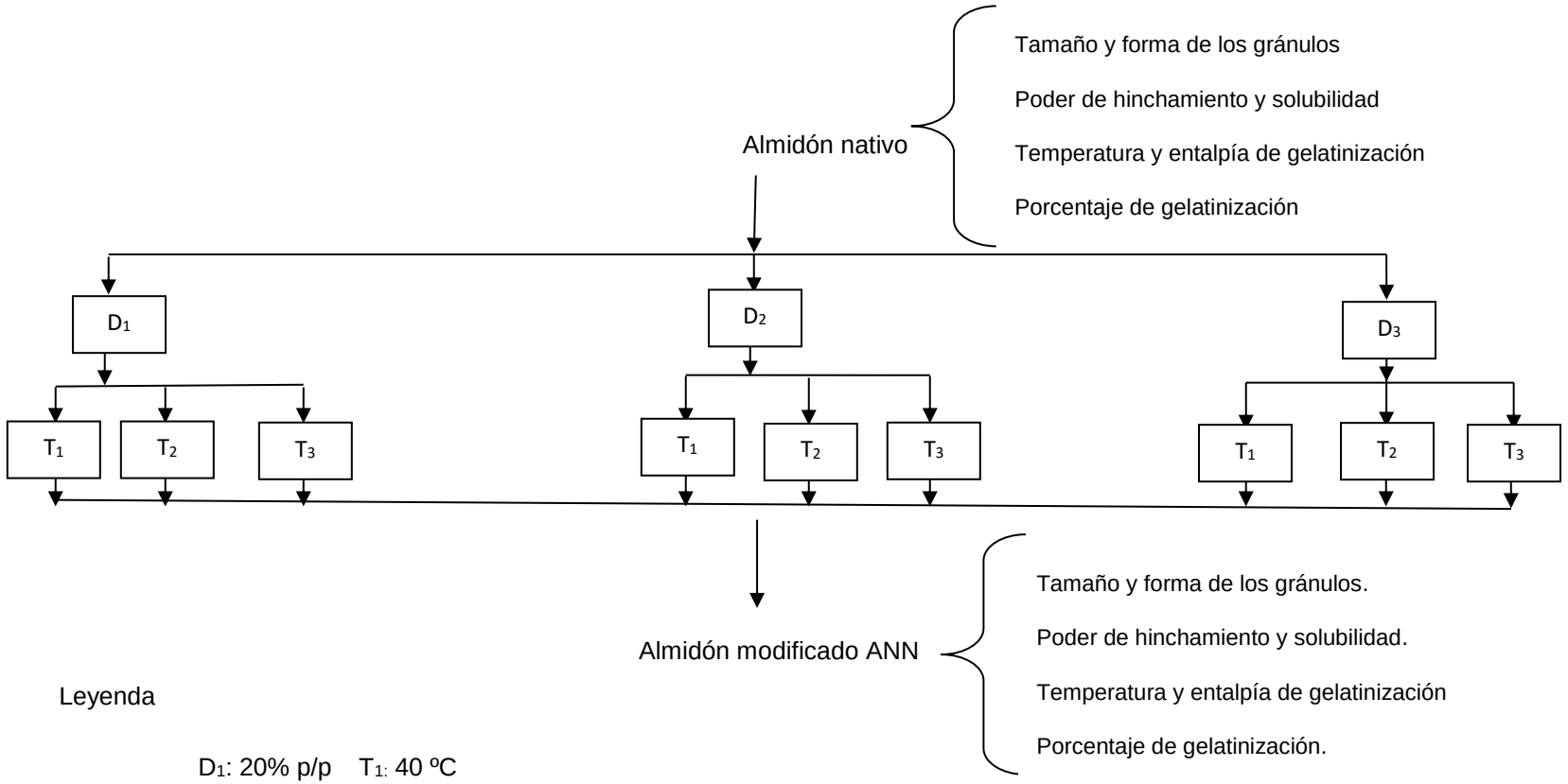


Figura 1. Esquema experimental para evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades térmicas del almidón de papa modificado (ANN)

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.

Selección: 20 Kg de papa variedad Yungay, 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.

Lavado: se realizó un lavado de las papas, por aspersión 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: 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 ºC ± 2° 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.

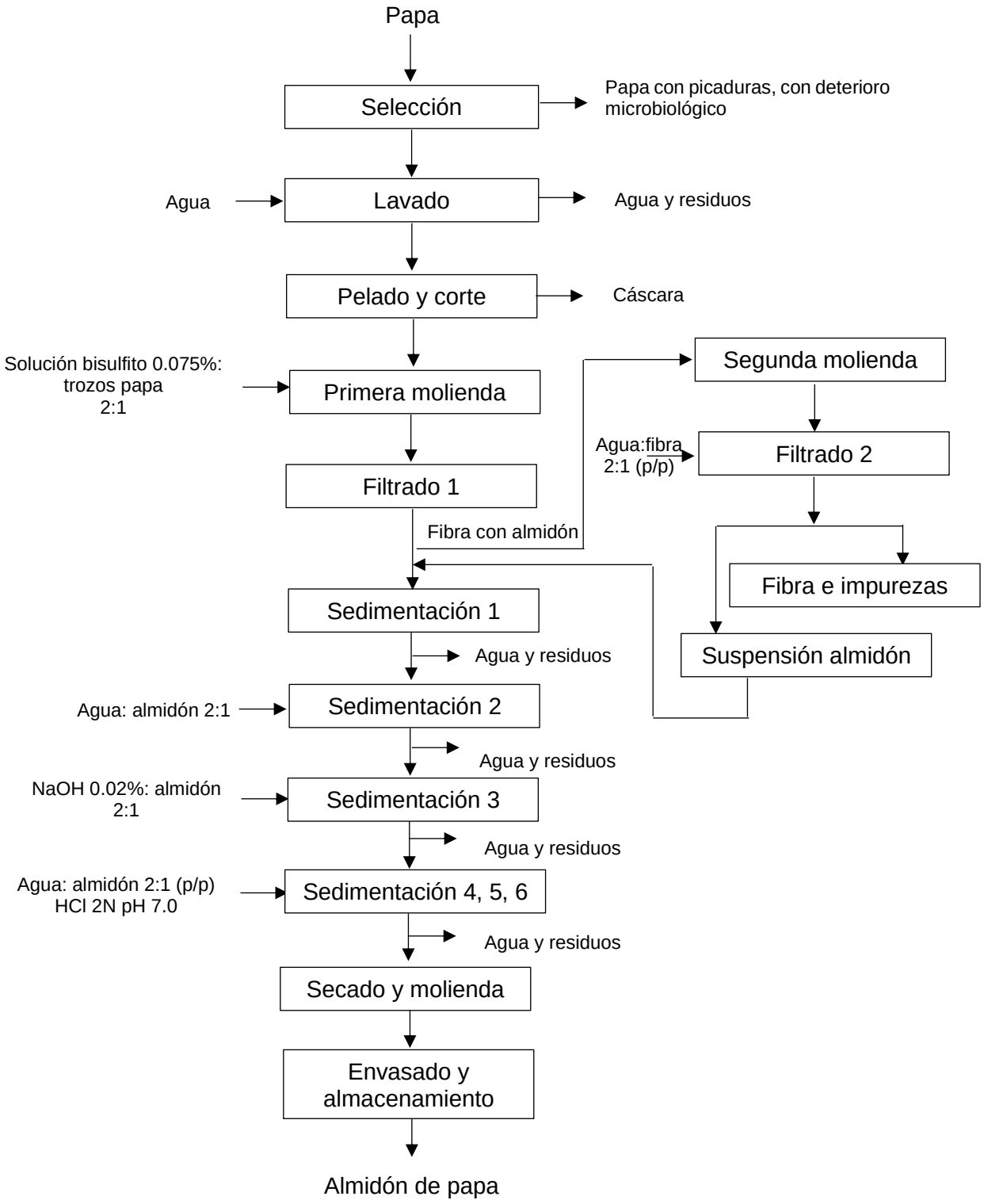


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de papa

3.3.3. Elaboración del almidón modificado (ANN)

Para elaborar las muestras de almidón modificado (ANN) (Anexo 1) se prepararon suspensiones a tres concentraciones (20, 30 y 40 % p/p) para luego ser incubadas a tres temperaturas (40, 50 y 60 °C) durante 8 horas, tal como lo describe (Singh y otros, 2011). Las muestras tratadas, posteriormente fueron centrifugadas (4000 rpm) durante 15 min. Los almidones recocidos se lavaron una vez con agua destilada y se secaron a 37 ºC durante 24 horas, 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).

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Forma y tamaño de los gránulos

La forma y tamaño de los gránulos se determinó mediante observación microscópica directa, utilizando microscopio óptico Leica. Se reportó el diámetro mayor de los gránulos de almidón (Hernández-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 centrífuga (50 mL) que contenía 20 mL de agua destilada, el tubo de centrífuga se calentó en un baño de agua a 80 ºC durante 30 min, posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 15 min. Luego se separó y pesó los sobrenadantes y el sedimento de almidón hinchado. Posteriormente, el sobrenadante se secó en una estufa a 105 ºC hasta

peso constante y se pesó. El PH (g/g) y S (%) se calculó mediante las ecuaciones 1 y 2.

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

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

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 calorimetría diferencial de barrido (MCDSC TA Instruments). Una muestra de almidón (3 mg) se colocó en una celda de aluminio y se agregó 6 mL de agua desionizada. Posteriormente se selló herméticamente y se equilibró a 4 °C durante 24 h, luego a 20 ºC 10 min y después se calentó de 20 a 130 ºC a una velocidad de 8 ºC/min. Una celda de aluminio vacía se utilizó como referencia. La temperatura de inicio (To), la temperatura pico (Tp), la temperatura final (Tf) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se analizaron y calcularon del termograma resultante con el software MCDSC (TA instrumentos, New Castle, DE, EE.UU.) (Huang y otros, 2016).

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.

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

Donde ΔHm y ΔHn 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. Los resultados fueron expresados en promedio indicando la desviación estándar, con el fin de evaluar el grado de variabilidad de los datos experimentales.

Para evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades térmicas del almidón de papa modificado (ANN), se aplicó un análisis de varianza (ANVA) (α=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

4.1.1. Características físicas

a) Forma y tamaño de los gránulos

Tal como se observa en el Anexo 2, el tamaño del gránulo del almidón nativo de papa variedad Yungay, se encontró en un rango de 9 a 26 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.

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 mm) y la forma de los gránulos de 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 mm para gránulos pequeños y de 20 a 110 mm 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 Yungay presentaron valores de 14.93±0.72 g agua/g almidón y 12.50±2.50% respectivamente. Estos resultados fueron menores que los 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 25.10±0.79, 25.70±0.65, 19.60±0.29, 22.80±0.79, 20.60±0.44, 20.40±1.22, 22.70±0.42, 20.40±0.40, 20.50±0.28 g agua/g almidón y solubilidad a 80 °C de 15.8±0.79%, 15.40±0.52%, 13.30±0.92%, 15.60±0.88%, 16.90±0.48%, 12.40±1.09%, 13.40±0.44%, 12.00±0.82%, 14.30±0.83% respectivamente, e indican que la mayor 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 (30.4-30.7 g agua/g almidón) y grandes (25.7- 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 Yungay fueron 60.41±1.34 ºC, 63.50±1.12 ºC y 69.66±0.45 ºC, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango (62.5 a 66.1 ºC) reportado por Alvani y otros (2014) para almidón

nativo extraído de 10 variedades de papa nativa cultivadas en Reino Unido.

La entalpía de gelatinización del almidón nativo de papa variedad Yungay fue de 16.52±0.82 J/g.

4.2. Almidón modificado tipo ANN

4.2.1. Características físicas

a) Forma y tamaño de los gránulos

En la Figura 3 (Anexo 3 y 4) se muestra el tamaño del gránulo de almidón de papa modificado tipo ANN, variedad Yungay, de los diferentes tratamientos evaluados.

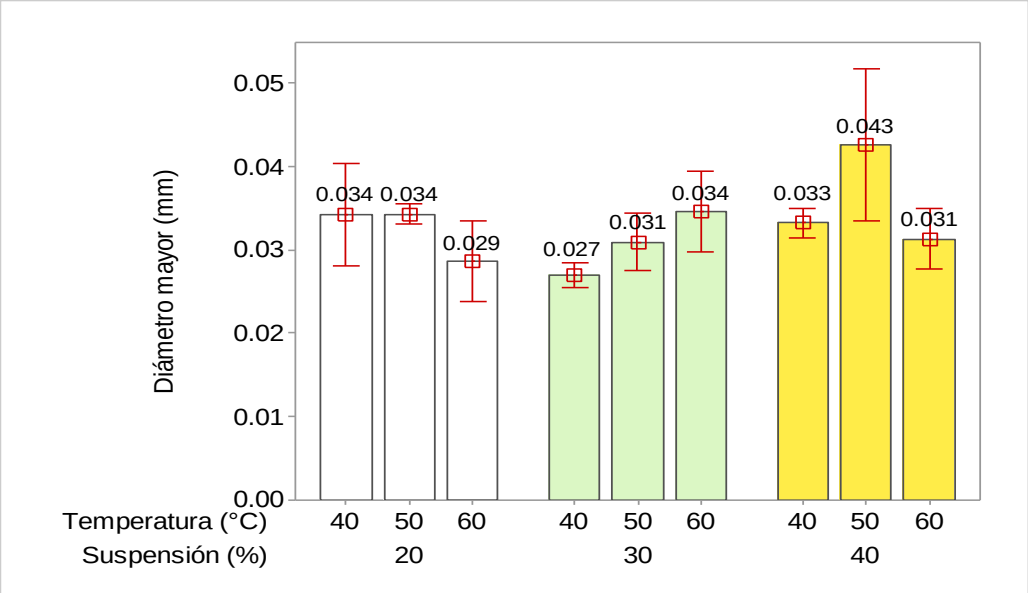


Figura 3. Tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay**.**

Tal como se observa el tamaño del gránulo del almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay, se encontró en un rango de 27 a 43 µm, indicando que el tratamiento de recocido incrementó el tamaño de los gránulos (con respecto al almidón nativo) en todos los tratamientos.

Resultado similar ha sido reportado por Da Rosa Zavareze y Guerra (2011) para muestras de almidón de maíz con diferentes contenidos de amilosa.

Waduge y otros (2006) indican que el aumento de tamaño de los gránulos se puede explicar por el ingreso de humedad a través de las regiones amorfas del almidón durante el tratamiento ANN.

Por otro lado, Kiseleva y otros (2005) reportaron que la cruz de malta y los anillos concéntricos de crecimiento de almidón de trigo se mantienen sin cambios en el recocido, siendo mucho más densos después del recocido.

En el Cuadro 3, se muestra la prueba de Levene modificada para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay 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 de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Característica	Estadístico de Levene	P
Tamaño del gránulo	1.040	0.445

En el Cuadro 4 se observa el análisis de varianza para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay, el cual muestra que el porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación no presentaron efecto significativo ($p>0.05$) sobre el tamaño de gránulo de almidón de papa variedad Yungay.

Cuadro 4. Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Suspensión: S	0.00011	2	0.0000561	0.835	0.450
Temperatura: T	0.00012	2	0.0000593	0.881	0.431
S*T	0.00025	4	0.0000634	0.942	0.462
Error	0.00121	18	0.0000673		
Total	0.00169	26			

De manera similar Waduge y otros (2006) no observaron diferencia significativa, entre los tamaños de los gránulos después del tratamiento ANN de almidón extraído de algunos cultivares de cebada.

b) Poder de hinchamiento y solubilidad

El poder de hinchamiento y solubilidad del almidón de papa modificado (ANN) se presentan en las figuras 4 y 5 respectivamente, observándose una reducción en ambas características, en comparación con el almidón de papa nativo, el cual presentó un poder de hinchamiento y solubilidad de 14.93±0.72 g agua/g almidón y 12.50±2.50% respectivamente.

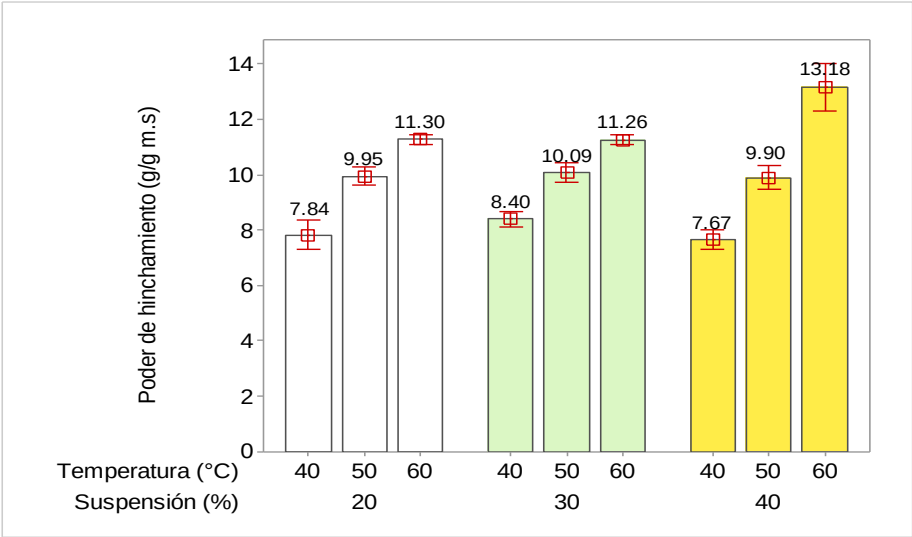


Figura 4. Poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay.

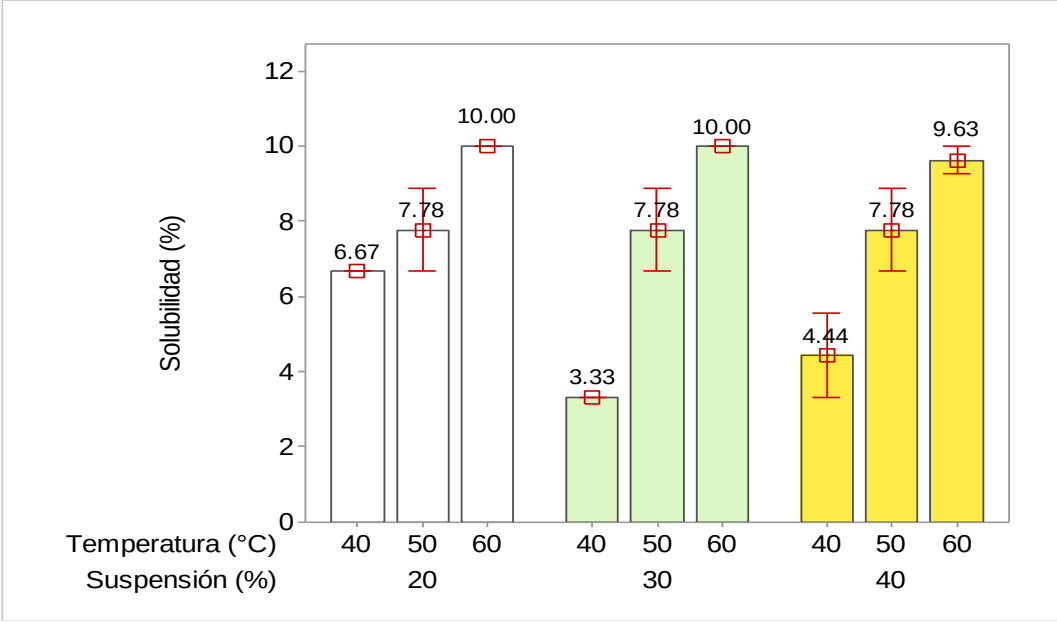


Figura 5. Solubilidad de almidón de papa (ANN) variedad Yungay.

Da Rosa Zavareze y Guerra (2011) indican que el ANN 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 ANN ha sido específicamente observado en almidón de papa (Hoover y Vasanthan, 1994). 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 ANN 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 recocido es debido a un fortalecimiento de los lazos entre amilosa y amilopectina o entre moléculas de amilopectina (Gomes y otros, 2005).

En el Cuadro 5, se muestra la prueba de Levene modificada para tamaño del gránulo de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay 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 5. Prueba de Levene modificada para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Característica	Estadístico de Levene	p
Poder de hinchamiento (g/g)	0.780	0.623
Solubilidad(%)	0.550	0.801

En los Cuadros 6 y 7 se presenta el análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay, observándose que solo la temperatura de incubación presentó efecto significativo (p>0.05).

Cuadro 6. Análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Suspensión S	1.414	2	0.707	1.262	0.307
Temperatura T	69.903	2	34.952	62.407	0.000
S*T	6.772	4	1.693	3.023	0.045
Error	10.081	18	0.560		
Total	88.170	26			

Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Suspensión: S	6.154	2	3.077	1.819	0.191
Temperatura: T	116.402	2	58.201	34.403	0.000
S*T	11.478	4	2.869	1.696	0.195
Error	30.451	18	1.692		
Total	164.485	26			

En los Cuadros 8 y 9, 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 poder de hinchamiento y el tratamiento T6 mayor solubilidad (sin diferencia significativa con el tratamiento T9).

Cuadro 8. Prueba de Duncan para valores de poder de hinchamiento de almidón de papa modificado (AAN) variedad Yungay

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto		
			1	2	3
T7	40	40	7.67		
T1	20	40	7.84		
T4	30	40	8.40		
T8	40	50		9.90	
T2	20	50		9.95	
T5	30	50		10.09	
T6	30	60		11.26	
T3	20	60		11.30	
T9	40	60			13.18

Cuadro 9. Prueba de Duncan para valores de solubilidad de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamiento	**Suspensión (%)**	**Temperatura (°C)**	**Subconjunto**			
			1	**2**	**3**	**4**
T4	30	40	3.33			
T7	40	40	4.44	4.44		
T1	20	40		6.67	6.67	
T5	30	50			7.78	7.78
T8	40	50			7.78	7.78
T2	20	50			7.78	7.78
T9	40	60				9.63
T3	20	60				10.00
T6	30	60				10.00

Resultados similares fueron reportados por Waduge y otros, (2006), quienes encontraron efecto significativo temperatura de incubación 50 °C por 72 h sobre el poder de hinchamiento en muestras de almidón de cebada recocido (porcentaje de la suspensión 75%), reportando valores menores en el almidón nativo. Estos autores informaron que el grado de esta reducción dependía en el contenido de amilosa de los almidones de cebada y siguió el orden: normal > ceroso > alto contenido de amilosa. La reducción en el poder de hinchamiento en los almidones cerosos en el tratamiento ANN se debe principalmente a la presencia de cristales de almidón que reduce el grado de hidratación de las regiones amorfas. Por el contrario, en almidones con contenido normal y con alto contenido de amilosa, la interacción entre los cristales y las interacciones de amilosa-amilosa pueden haber sido responsable de la reducción en la hidratación.

Se ha demostrado que el tratamiento ANN reduce el poder de hinchamiento en almidón de papa (Tester y Debon, 2000) (Nakazawa y Wang, 2003), yuca (Nakazawa y Wang, 2003) y maíz (Nakazawa y Wang, 2003) (Qi, y otros, 2005).

La disminución de la hinchazón de los gránulos se ha atribuido a la interacción de los siguientes factores: (1) Aumento de la porción cristalina y la disminución de la hidratación, (2) interacción amilosa-amilosa y/o amilosa-amilopectina, (3) incremento de la fuerza intragranular y refuerzo de unión del gránulo, y (4) formación del complejo amilosa-lípido (Waduge y otros, 2006).

4.2.2. Propiedades térmicas

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

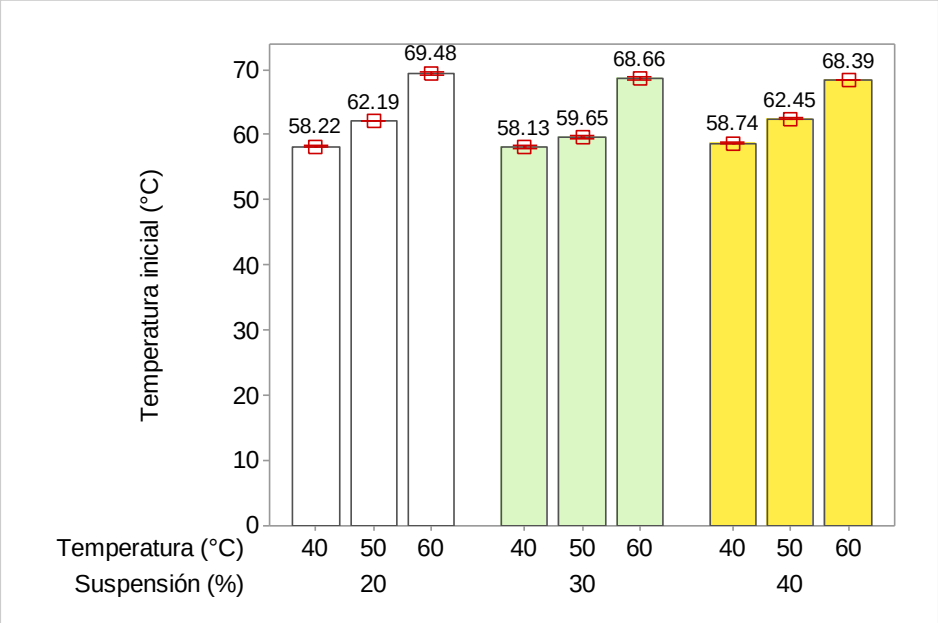


Figura 6. Temperatura inicial de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)

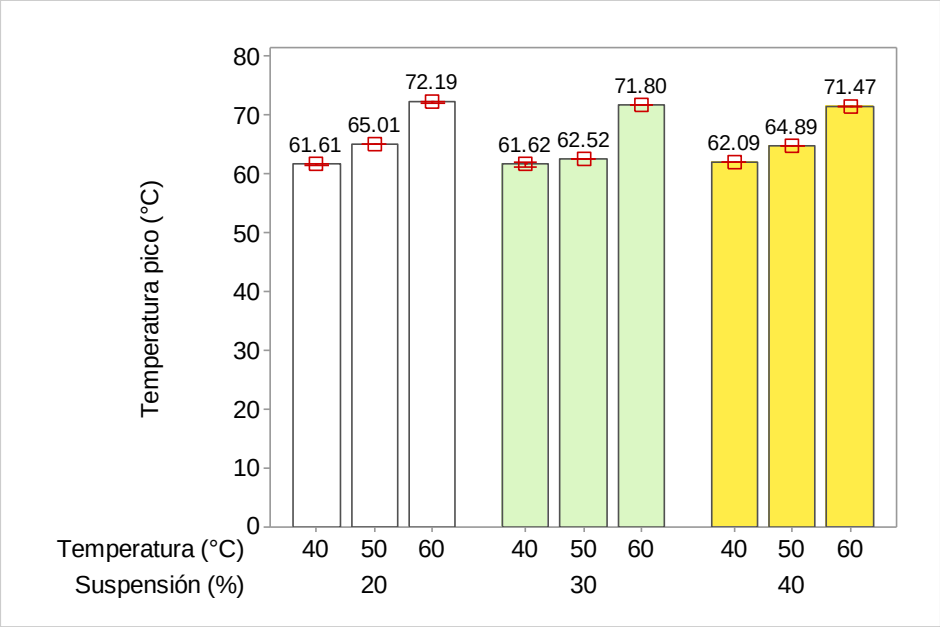


Figura 7. Temperatura pico de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)

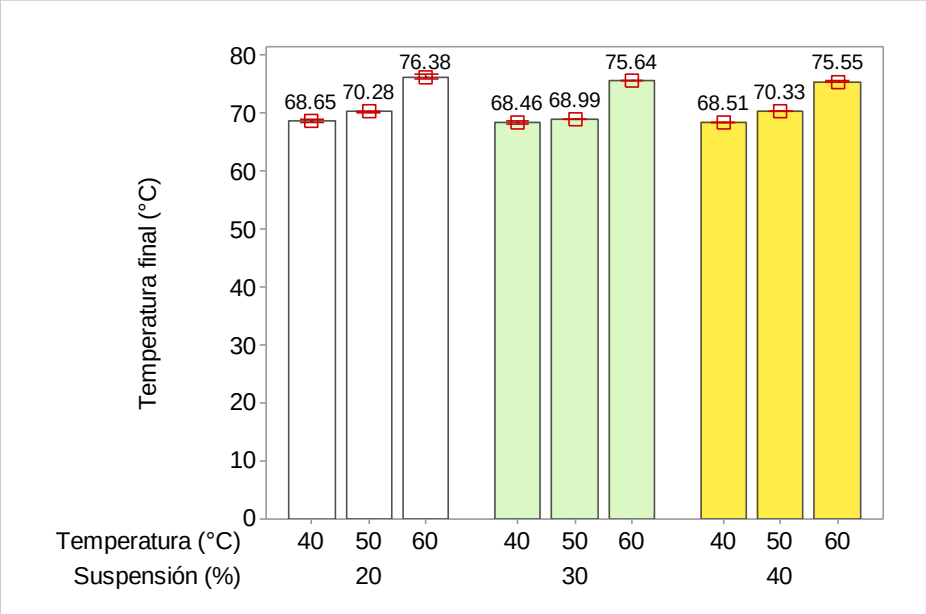


Figura 8. Temperatura final de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)

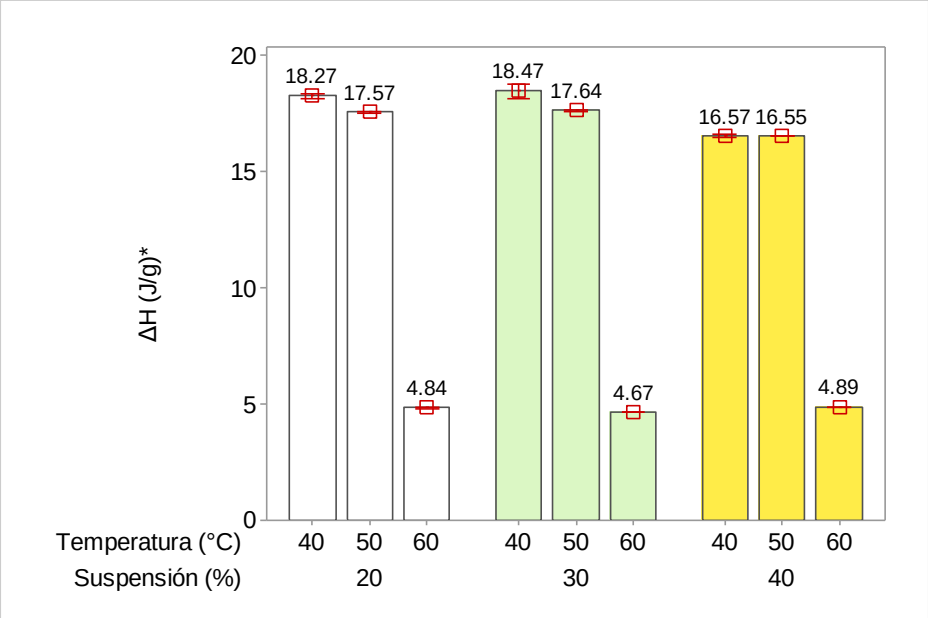


Figura 9. Entalpía de gelatinización de muestras de almidón de papa modificado (ANN)

Tal como se observa, todas las muestras de almidón ANN tratadas a la temperatura de 60 ºC (T7, T8 y T9) mostraron mayores valores de Ti, Tp y Tf de gelatinización que el almidón nativo. En adición, se observó una relación directa entre la temperatura de incubación y los valores de Ti, Tp y Tf de gelatinización, para cada concentración de la suspensión evaluada.

Adicionalmente todos los tratamientos mostraron un incremento de los valores de entalpía de gelatinización, con respecto al almidón nativo (16.52±0.82 J/g), con excepción de las muestras sometidas a la temperatura de incubación de 60 °C.

Liu y otros (2009) informaron temperaturas de incubación muy por debajo de la temperatura de gelatinización (30 ºC) no son suficientemente altas para afectar a la microestructura del gránulo, en el recocido de almidón de maíz. Sin embargo, Jayakody y Hoover (2008) indican que el efecto de recocido sobre la estructura de almidón es más pronunciado si se

establece la temperatura de recocido menor, pero cerca a To. Por lo tanto, temperaturas de recocido generalmente deberían mantenerse entre 5 a 15 ºC por debajo de To (Tester y Debon, 2000).

Adicionalmente Jayakody y Hoover (2008) informaron que en el tratamiento ANN de almidón de maíz, To y Tp aumentaron gradualmente hasta un contenido de humedad del 67% (w/w), después del cual el exceso de agua no tuvo ningún efecto adicional. De igual modo reportaron un fuerte incremento en To, Tp y Tf en tratamientos ANN con porcentaje de la suspensión de 50% en almidones de trigo y de lentejas y 10% y 70% en almidones de papa y avena respectivamente. La interacción entre las cadenas amilosa-amilopectina y/o amilosa-amilosa permitiría el ensamblaje de capas delgadas alineadas de las moléculas de amilopectina. Esto explicaría entonces el incremento de los parámetros de gelatinización con el aumento del contenido de humedad.

Genkina y otros (2004) demostraron que en almidón de camote los valores de Tp y Tc aumentaron rápidamente durante los primeros 60 min de recocido (a 45 °C). Después de 8 h los incrementos fueron mucho más bajos y tienden hacia el valor constante.

Jayakody y Hoover (2008) informaron que para el almidón de trigo los mayores cambios en To, Tp y Tc se produjeron durante las primeras 4 h de recocido (a 50 ºC). No se observaron cambios después de 6 h. En general, Tp y Tc aumenta con el tiempo de recocido, siendo más pronunciado en To y menos en Tc.

En el Cuadro 10, se muestra la prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad

Yungay 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 10. Prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Propiedad térmica	**Estadístico de Levene**	**P**
T_0	0.870	0.557
T_p	1.470	0.236
T_f	1.280	0.311
ΔH	1.040	0.445

En el Cuadro 11 se observa el análisis de varianza para valores propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay, el cual muestra que el porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación presentaron efecto significativo (p<0.05) sobre dichas propiedades.

Cuadro 11. Análisis de varianza para valores de propiedades térmicas de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
T_0	Suspensión S	7.251	2	3.62	42.70	0.000
	Temperatura T	522.280	2	261.14	3075.87	0.000
	S*T	9.642	4	2.41	28.39	0.000
	Error	1.528	18	0.085		
	Total	540.701	26			
T_p	Suspensión S	4.897	2	2.44	40.03	0.000
	Temperatura T	496.712	2	248.35	4061.41	0.000
	S*T	8.168	4	2.04	33.39	0.000
	Error	1.101	18	0.06		
	Total	510.877	26			
T_f	Suspensión S	2.506	2	1.253	11.517	0.001
	Temperatura T	273.512	2	136.756	1255.87	0.000
	S*T	2.287	4	0.572	5.25	0.006
	Error	1.960	18	0.109		
	Total	280.265	26			
ΔH	Suspensión S	4.966	2	2.483	63.678	0.000
	Temperatura T	971.013	2	485.506	12450.40	0.000
	S*T	3.904	4	0.976	25.028	0.000
	Error	0.702	18	0.039		
	Total	980.585	26			

En los Cuadros 12, 13, 14 y 15 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.

Cuadro 12. Prueba de Duncan para valores de temperatura inicial de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto					
			1	2	3	4	5	6
T4	30	40	58.13					
T1	20	40	58.22					
T7	40	40		58.74				
T5	30	50			59.65			
T2	20	50				62.19		
T8	40	50				62.45		
T9	40	60					68.39	
T6	30	60					68.66	
T3	20	60						69.48

Cuadro 13. Prueba de Duncan para valores de temperatura pico de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto				
			1	2	3	4	5
T1	20	40	61.61				
T4	30	40	61.62				
T7	40	40		62.09			
T5	30	50		62.52			
T8	40	50			64.89		
T2	20	50			65.01		
T9	40	60				71.47	
T6	30	60				71.80	71.80
T3	20	60					72.19

Cuadro 14. Prueba de Duncan para valores de temperatura final de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamientos	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto			
			1	2	3	4
T4	30	40	68.46			
T7	40	40	68.51			
T1	20	40	68.65			
T5	30	50	68.99			
T2	20	50		70.28		
T8	40	50		70.33		
T9	40	60			75.55	
T6	30	60			75.64	
T3	20	60				76.38

Cuadro 15. Prueba de Duncan para valores de entalpía de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto			
			1	2	3	4
T6	30	60	4.67			
T3	20	60	4.84			
T9	40	60	4.89			
T8	40	50		16.55		
T7	40	40		16.57		
T2	20	50			17.57	
T5	30	50			17.64	
T1	20	40				18.27
T4	30	40				18.47

De igual modo Chung y otros (2009) reportan un incremento de los valores para la entalpía de gelatinización en almidón de maíz modificado ANN (porcentaje de la suspensión: 30%; temperatura de incubación: 50 °C durante 24 h), en comparación con el almidón nativo.

Waduge y otros (2006) reportó el tratamiento hidrotérmico de almidón de cebada (porcentaje de la suspensión: 75%; temperatura de incubación: 50 °C por 72 h) incrementaron significativamente la entalpía de gelatinización.

Chung y otros (2010) reportaron incremento significativo de la entalpia de gelatinización para muestras de almidón de arvejas (12.5±0.1 kJ/g), lentejas (13.9±0.1 kJ/g), y frijoles blancos 15.4 ±0.3 kJ/g), después del tratamiento hidrotérmico (porcentaje de la suspensión: 70%; temperatura de incubación: 50 °C), con respecto al almidón nativo: 12.0±0.1, 13.5±0.1, 14.9±0.0 kJ/kg, respectivamente.

Nakazawa y Wang (2003) han demostrado que temperaturas de almidón modificado (ANN) entre 15 a 28 ºC por debajo de To pueden también tener un impacto significativo en los parámetros de gelatinización de almidones.

Adebowale y otros (2005) informaron que un aumento de To, Tp y Tc en almidón sorgo rojo tratado ANN a 50 ºC durante 24 h, refleja la fusión de cristales que se forman como resultado la interacción de amilosa-amilosa y amilosa-amilopectina a lo largo de las cadenas. Estas interacciones suprimen la hinchazón del gránulo, lo que conduce a una gelatinización retardada y a valores más altos de To, Tp y Tc.

Waduge y otros (2006) estudiaron el efecto de la ANN sobre almidón de cebada e informaron que el tratamiento aumentó To, Tp y Tc. Atribuyeron tales cambios a la interacción amilosa-amilosa y/o amilosa-amilopectina, dando lugar a la formación de nuevas dobles hélices, y que la disminución de la entalpia de gelatinización podría deberse a la gelatinización de los gránulos de almidón a temperaturas cercanas a To.

El aumento de las temperaturas de gelatinización se podría asociar con una disminución del poder de hinchamiento, siempre que alguna estructura granular sea retenida. Esto se refleja en una temperatura más alta para el inicio de la gelatinización (Tester y Debon, 2000).

4.2.3. Grado de gelatinización

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

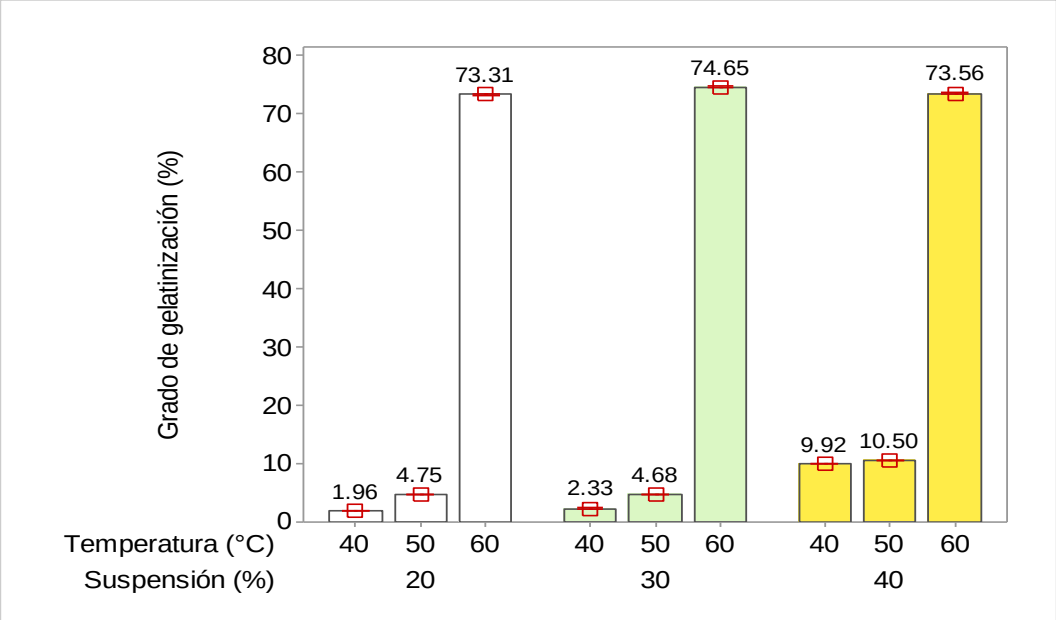


Figura 10. Grado de gelatinización del almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tal como se observa, los valores del grado de gelatinización (DG) mostraron que el tratamiento ANN causó alguna gelatinización de los gránulos de almidón a las temperaturas de 40 y 50 ºC, incrementándose significativamente a medida que aumentaba el porcentaje de la suspensión. Un mayor grado de gelatinización se encontró en muestras tratadas a 60 ºC para las tres concentraciones de suspensión evaluadas.

En el Cuadro 16, se muestra la prueba de Levene modificada para grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay 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 16. Prueba de Levene modificada para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Estadístico de Levene	p
1.080	0.419

En el Cuadro 17 se observa el análisis de varianza para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay, el cual muestra que el porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación presentaron efecto significativo ($p<0.05$) sobre dichas propiedades.

Cuadro 17. Análisis de varianza para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Suspensión S	116.289	2	58.144	2496.820	0.000
Temperatura T	27881.553	2	13940.776	598640.067	0.000
S*T	74.606	4	18.651	800.923	0.000
Error	0.419	18	0.023		
Total	28072.867	26			

En el Cuadro 18, 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 (T8) presentó el mayor grado de gelatinización.

Cuadro 18. Prueba de Duncan para valores de grado de gelatinización de almidón de papa modificado (ANN) variedad Yungay

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto						
			1	2	3	4	5	6	7
T1	20	40	1.96						
T4	30	40		2.33					
T5	30	50			4.68				
T2	20	50			4.75				
T7	40	40				9.92			
T8	40	50					10.50		
T3	20	60						73.31	
T9	40	60						73.56	
T6	30	60							74.65

Resultados similares han sido reportados por Da Rosa Zavareze y Guerra (2011), quienes indican que el efecto del recocido 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, composición química.

Por tanto, la modificación hidrotérmico (ANN) de almidones promueve mayor estabilidad térmica y reduce la velocidad de retrogradación pudiendo ser utilizados en la industria de alimentos enlatados y congelados (Adebowale y otros, 2005). Se ha estudiado la modificación térmica de almidón de papa para reemplazar el almidón de maíz en tiempos de escasez, y en la producción de almidón con excelente estabilidad a procesos de congelación-descongelación (Jayakody y Hoover, 2008).

La disminución del poder de hinchamiento, la lixiviación de amilosa y la elevación de la entalpia de gelatinización, que resultan del tratamiento ANN son todas las propiedades deseables para la fabricación de fideos. Hormdok y Noomhorm (2007) evaluaron la calidad de los fideos cuando la harina de arroz se sustituyó por almidón de arroz modificado por ANN. Este estudio mostró una mejora en la textura (adherencia, masticabilidad y resistencia a la tracción) de los fideos preparados con almidón de arroz modificado hidrotérmicamente. De igual modo Miyazaki y Morita (2005) investigaron las propiedades de la masa y características de pan elaborado con harina de trigo sustituida parcialmente por almidón de maíz modificado ANN.

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 mimético de grasa o para aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos.

V. CONCLUSIONES

El porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) y la temperatura de incubación (40, 50 y 60 °C) tuvieron efecto significativo en las propiedades térmicas (temperatura, entalpía y porcentaje de gelatinización) de almidón de papa modificado (ANN) y no en las características físicas (tamaño y forma del gránulo) de almidón de papa variedad Yungay. No se encontró efecto significativo del porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) sobre poder de hinchamiento y solubilidad.

El tratamiento T3 de modificación de almidón ANN (20%; 60 ºC) presentó mayor solubilidad (10.00 %), mayor valor de temperatura inicial (69.48 °C), pico (72.19 °C) y final (76.38 °C) de gelatinización y menor entalpía de gelatinización (4.84 J/g), por lo que podría recomendarse su aplicación en la formulación de alimentos envasados, congelados, fideos y productos de panificación.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones sobre la aplicación de almidón modificado (ANN) 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.

Chung, H.-J., Li, X.-Q., Kalinga, D., Lim, S.-T., Yada, R. y Liu, Q. 2014. Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. Food Research International, 57:89-94.

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.

Donner, E. A., Liu, Q., Arseault, W. J., Ivany, J. A. y Wood, P. J. 2009. Physicochemical and nutritional properties of starch and dry matter from organically and conventionally grown potatoes. Food, 3:31-38.

Genkina, N. K., Wasserman, L. A., Noda, T.; Tester, R. F. y Yuryeva, V. P. 2004. Effects of annealing on the polymorphic structure of starches from sweet potatoes (Ayamurasaki and Sunnyred cultivars) grown at various soil temperatures. Carbohydrate Research, 339:1093-1098.

Gobierno Regional La Libertad, 2014. Portal Agrario Regional, La Libertad. [En línea]. Disponible en: http://www.agrolalibertad.gob.pe/?q=node/639
[Último acceso: 25 Enero 2016].

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.

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

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.

Hang, L., Xudan, G., Wuxia, L., Xiaofang, W., Manman, l. 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 fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 28(3):718-726.

Hoover, R. y Vasanthan, T. 1994. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. Journal of Food Biochemistry, 17:303-325.

Hormdok, R. y Noomhorm, A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. LWT-Food Science and Technology, 4:723-1731.

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.

Kiseleva, V. I., Krivandin, A. V., Formal, J., Blaszczack, W., Jelinska, T. y Yuryev, V. P. 2005. Annealing of normal and mutant

wheat starches. LM, SEM, DSC and SAXS studies. Carbohydrate Research, 340:75-83.

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.

Liu, H., Yu, L., Simon, G., Dean, K. y Chen, L. 2009. Effects of annealing on gelatinization and microstructures of corn starches with different amylose/amylopectin ratios. Carbohydrate Polymers, 77, 662–669.

Martínez, A., 2007. Conociendo la cadena productiva de la papa en Ayacucho, Ayacucho: Solid Perú.

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

Ministerio de Agricultura. 2015. Direccion General de Competitividad Agraria. Cadena agroproductiva de la papa, Lima: Centro de Documentación Agraria-CENDOC.

Miyazaki, M., Hung, P., Maeda, T. y Morita, N. 2006. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. Trends in Food Science & Technology, 17:591-599.

Miyazaki, M. y Morita, N. 2005. Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. Food Research International, 38:369-376.

Nakazawa, Y. y Wang, Y. J. 2003. Acid hydrolysis of native and annealed starches and branch-structure of their Naegeli dextrins. Carbohydrate Research, 338:2871-2882.

Protserov, V. A., Wasserman, L. A., Tester, R. F., Debon, S. J. J., Ezernitskaja, M. G. y Yuryev, V. P.A. 2002. Thermodynamic and structural properties of starches extracted from potatoes grown at different environmental temperatures. Carbohydrate Polymers, 49(3):271-279.

Qi, X., Tester, R. F., Snape, C. E. y Ansell, R. 2005. The effect of annealing on structure and gelatinization of maize starches with amylose dosage series. Progress in Food Biopolymers Research, 1:1–27.

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, H., Chang, Y. H., Lin, J.-H., Singh, N. y Singh, N. 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.

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 ala 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.

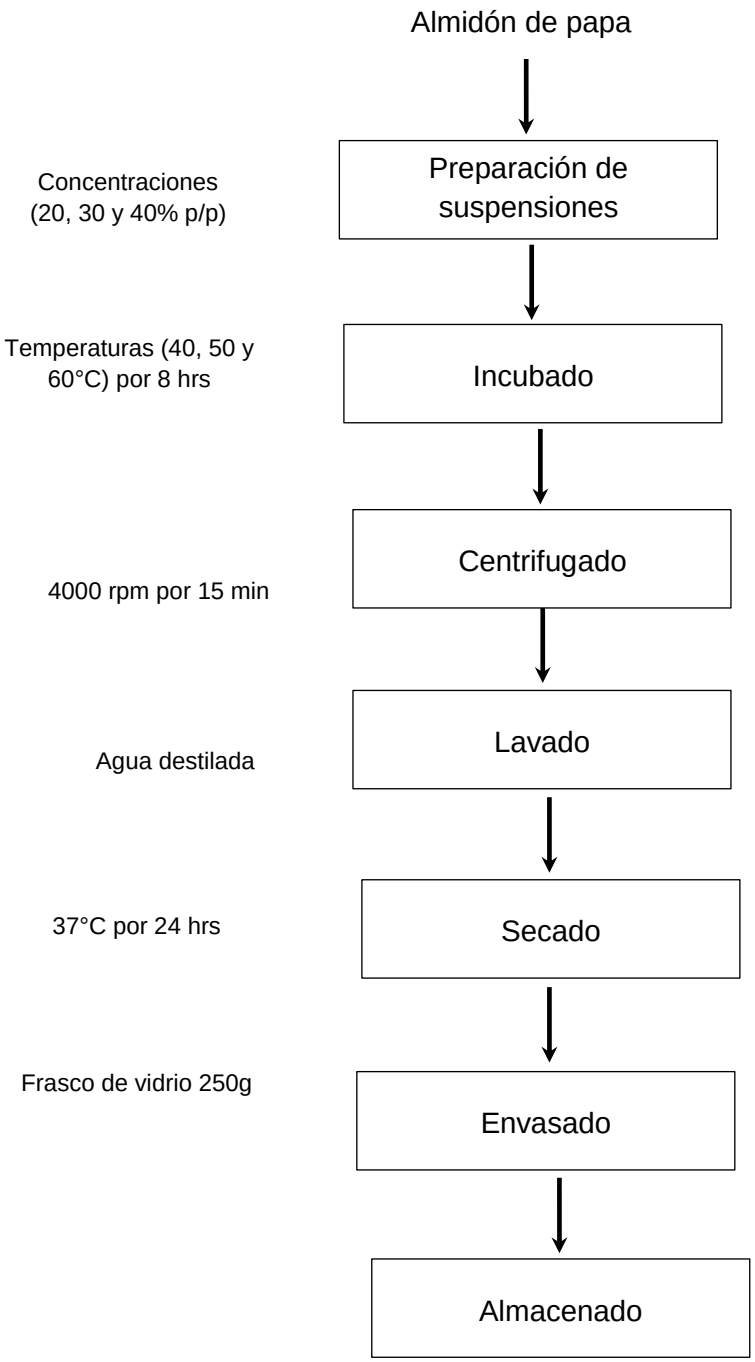
Vamadevan, V. y Bertoft, E. 2015. Structure-function relationships of starch components. Starch, 26:55–68.

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.

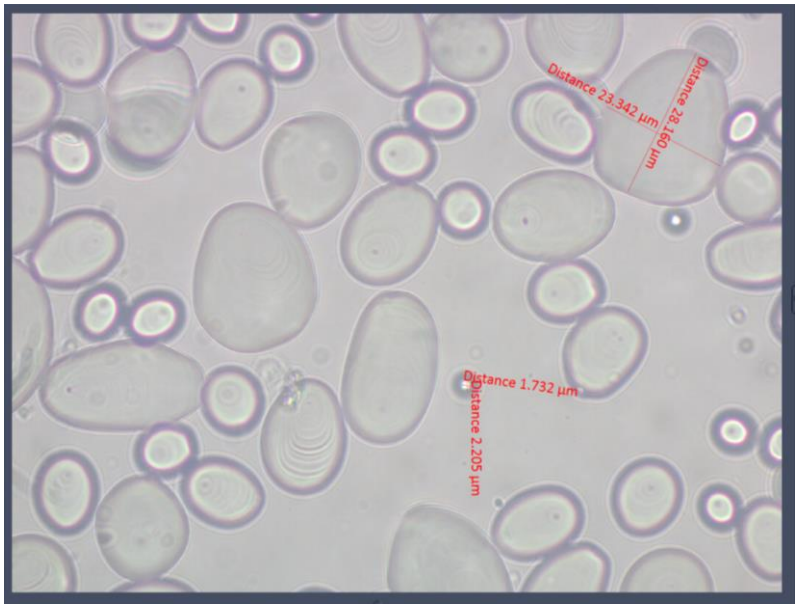
Xie, S. X., Qiang Liu, Q. y Cui, S. W. 2005. Starch Modification and Applications. En: S. W. Cui, ed. Food Carbohydrates Chemistry, Phisical Properties and Aplications. Boca Ratón, Florida: Taylor y Francis Group, p. 50.

VIII. ANEXOS

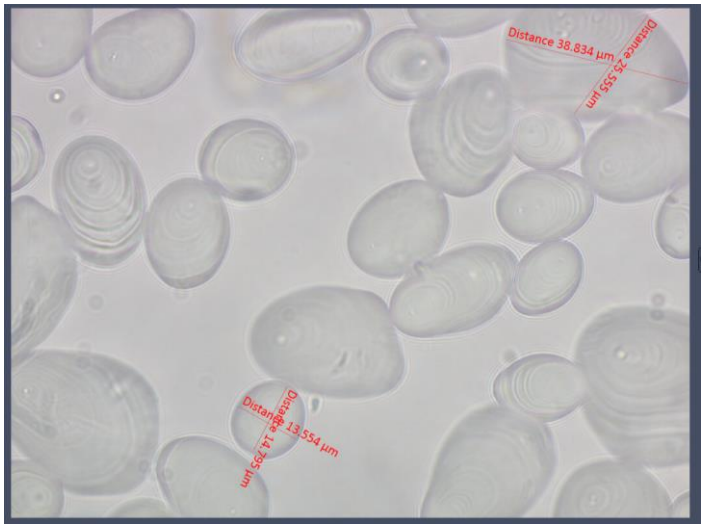
Anexo 1. Diagrama de flujo para la elaboración del almidón modificado (ANN)



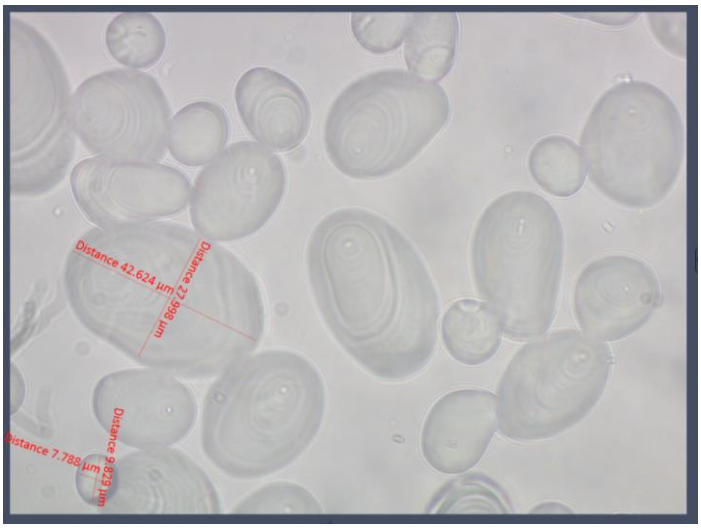
Anexo 2. Forma y Tamaño del gránulo de almidón nativo



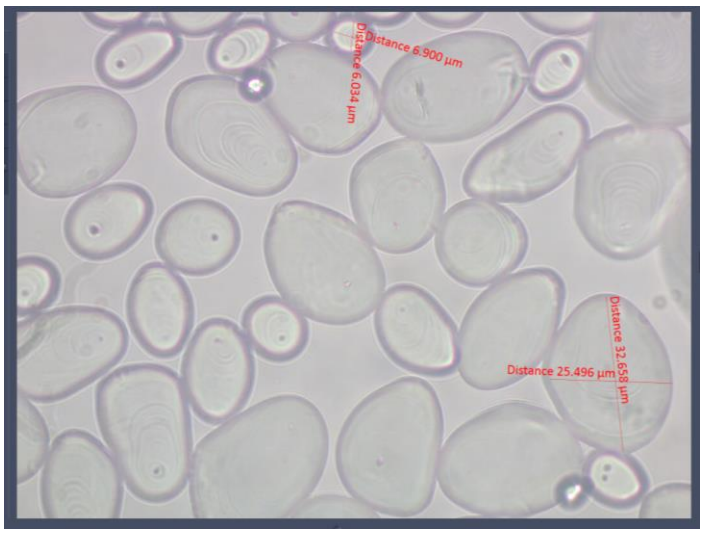
Anexo 3. Forma y tamaño de los gránulos de almidón modificado



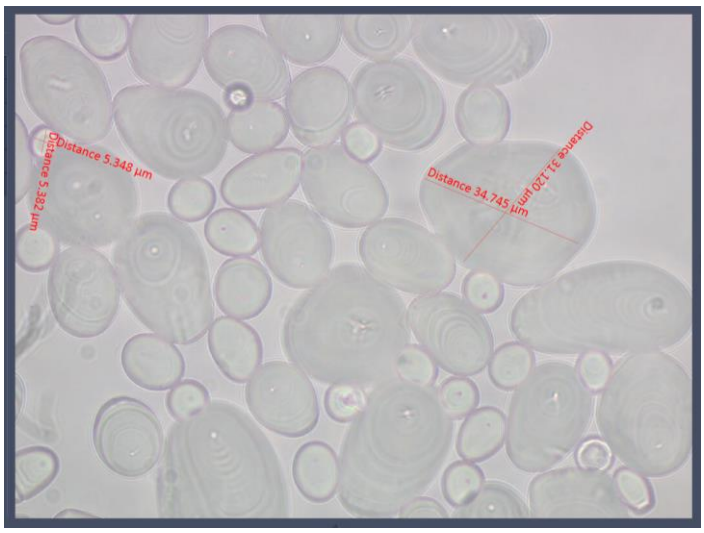
T1 R1 (S: 20%, T°: 40°C)



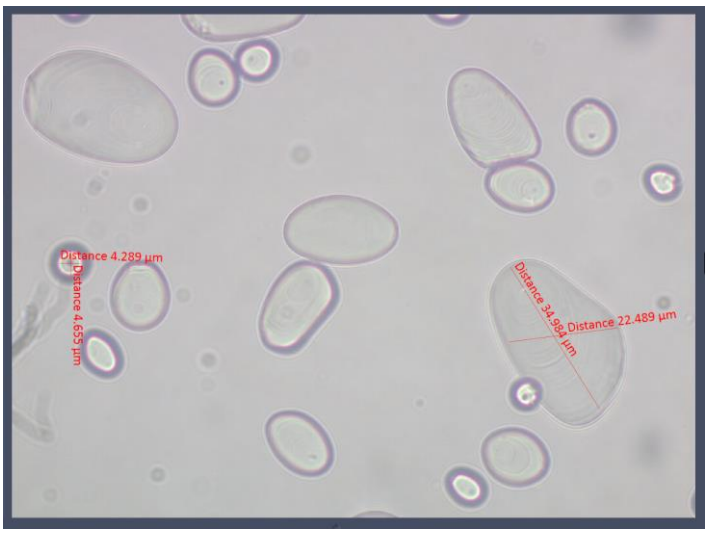
T1 R2 (S: 20%, T°: 40°C)



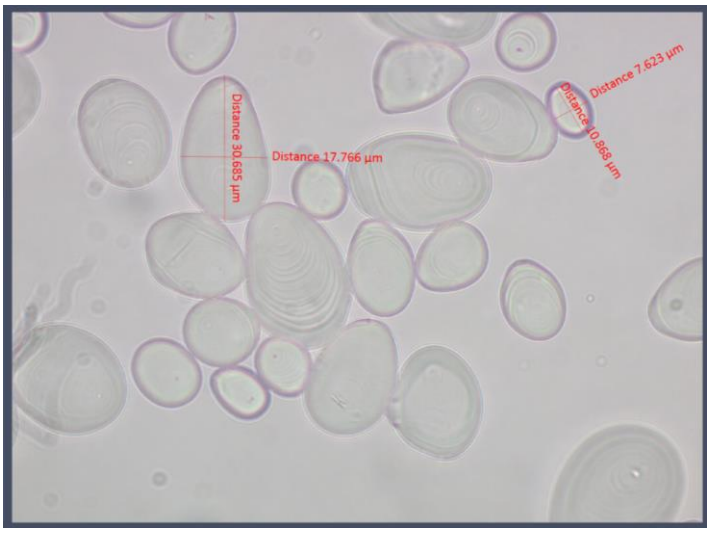
T2 R1 (S: 20%, T°: 50°C)



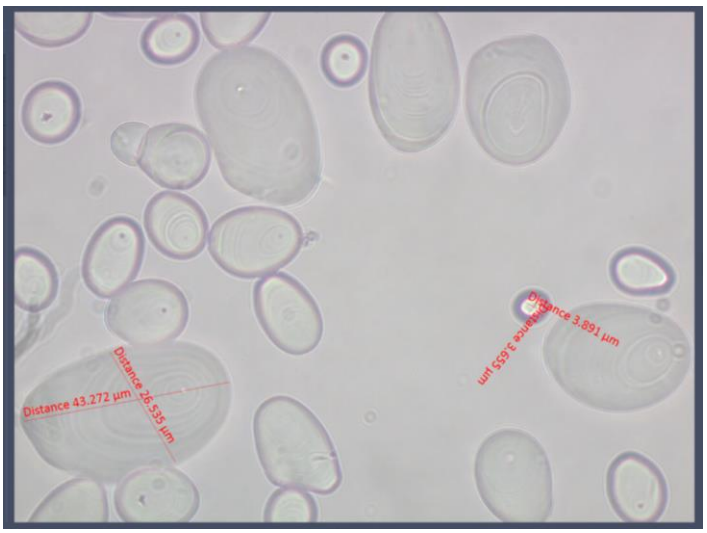
T2 R2 (S: 20%, T°: 50°C)



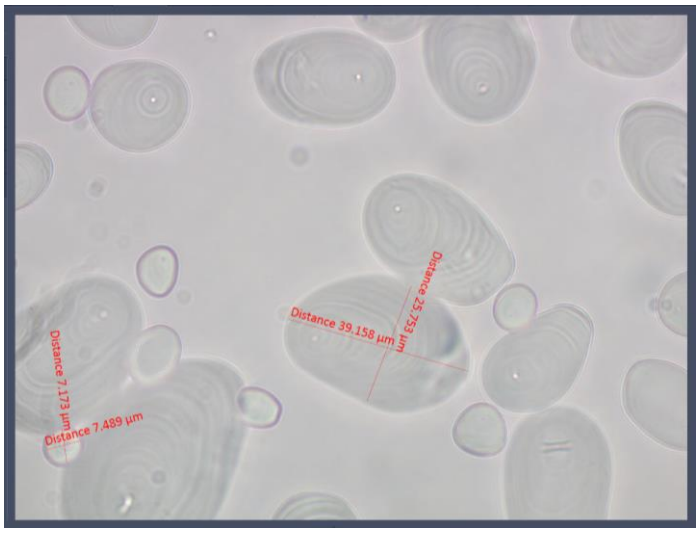
T3 R1 (S: 20%, T°: 60°C)



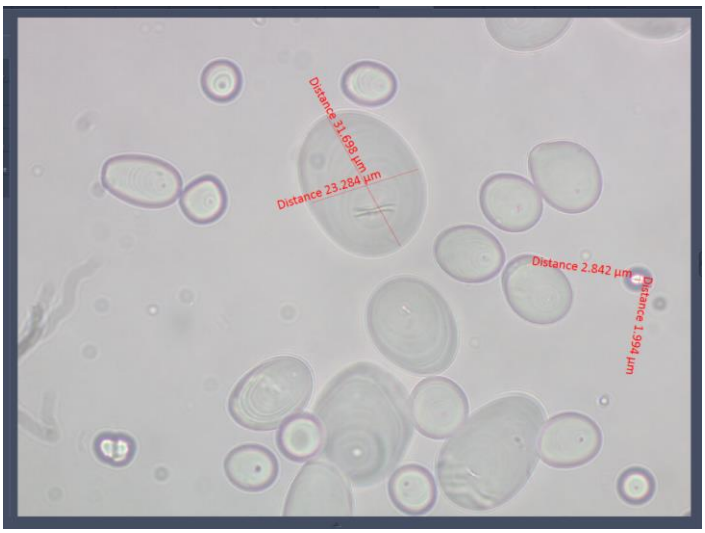
T3 R2 (S: 20%, T°: 60°C)



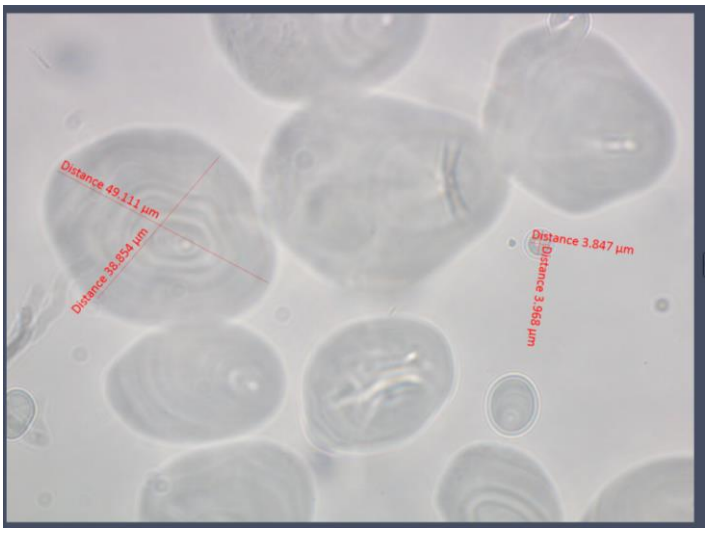
T4 R1 (S: 30%, T°: 40°C)



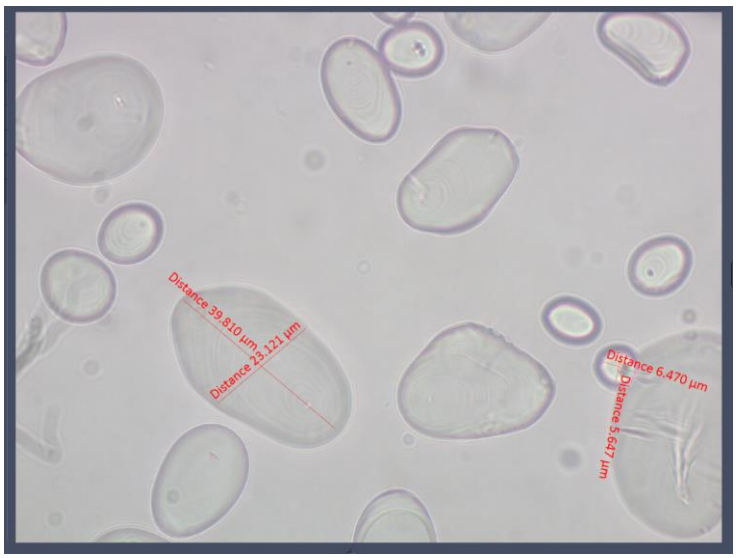
T4 R2 (S: 30%, T°: 40°C)



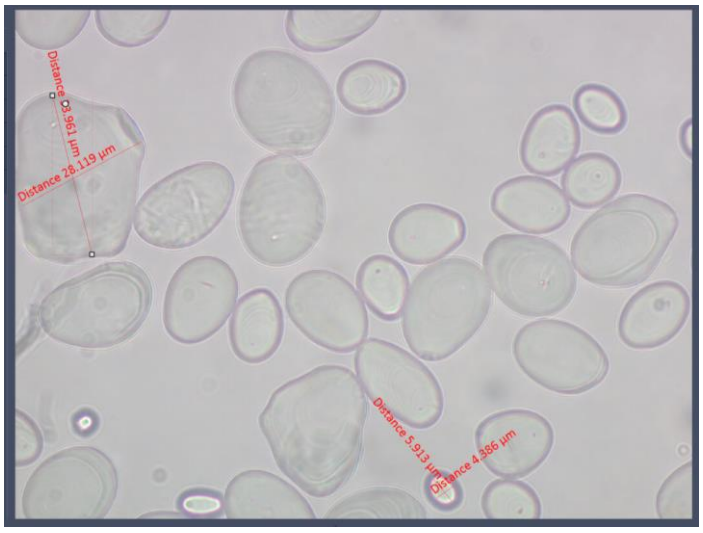
T5 R1 (S: 30%, T°: 50°C)



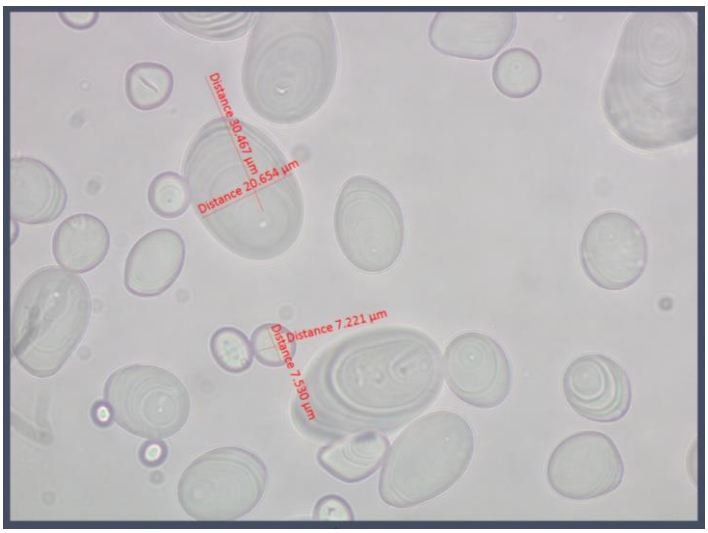
T5 R2 (S: 30%, T°: 50°C)



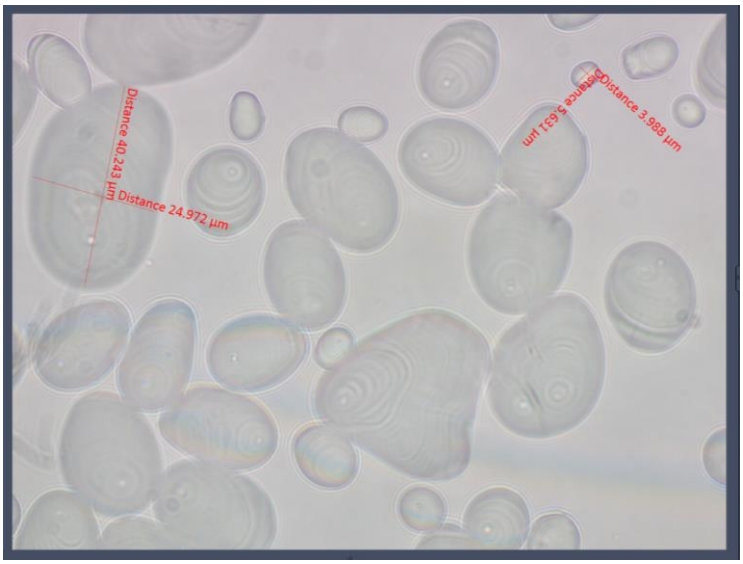
T6 R1 (S: 30%, T°: 60°C)



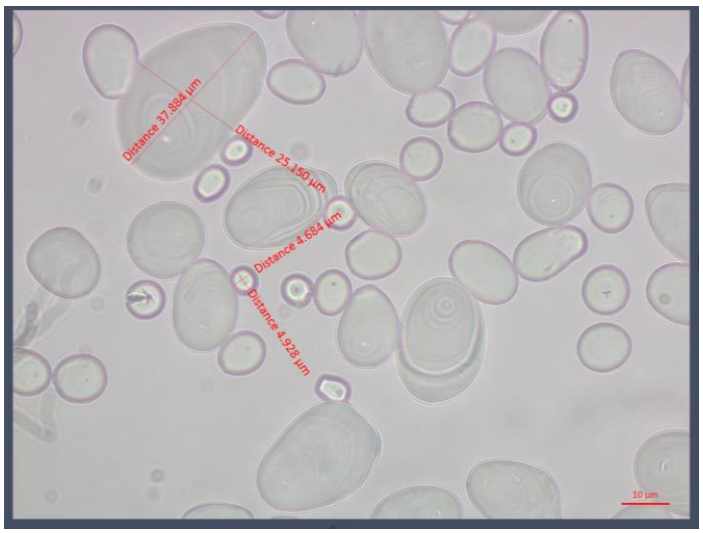
T6 R2 (S: 30%, T°: 60°C)



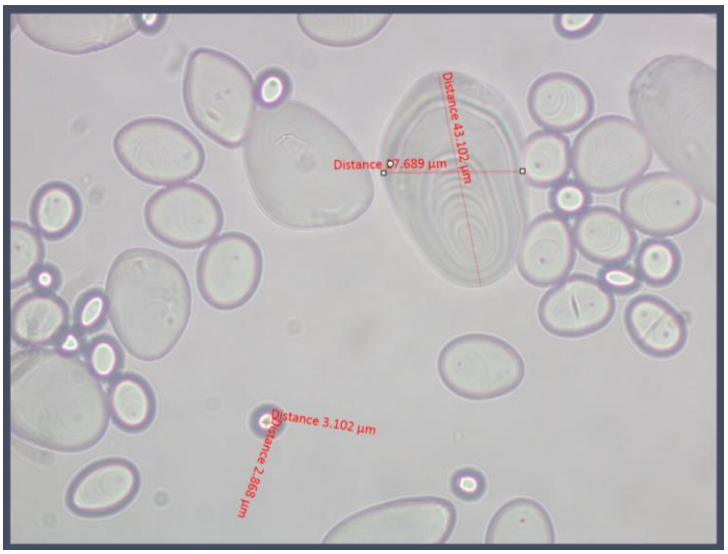
T7 R1 (S: 40%, T°: 40°C)



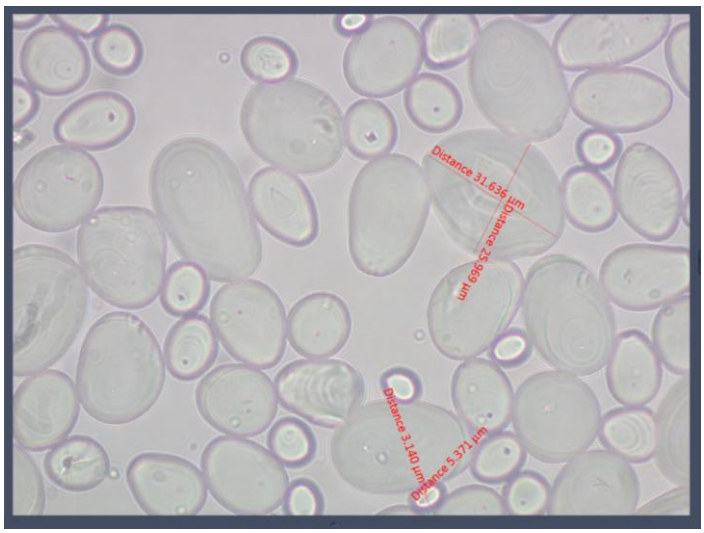
T7 R2 (S: 40%, T°: 40°C)



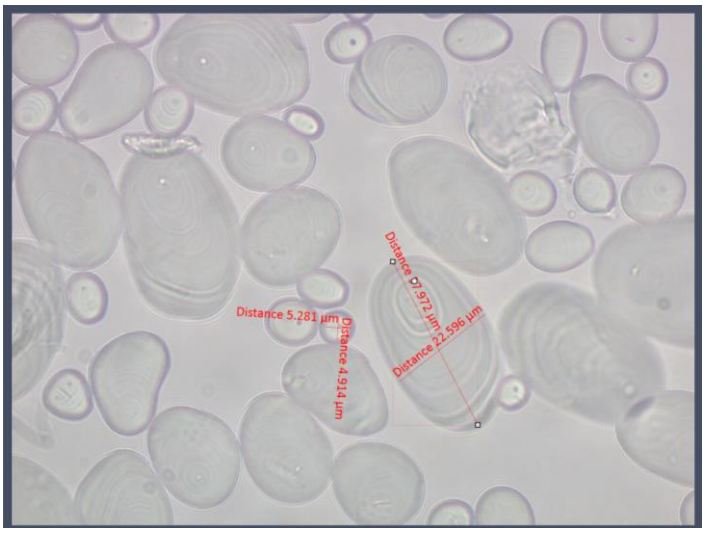
T8 R1 (S: 40%, T°: 50°C)



T8 R2 (S: 40%, T°: 50°C)



T9 R1 (S: 40%, T°: 60°C)



T9 R2 (S: 40%, T°: 60°C)

Leyenda:

T: Tratamiento S: Porcentaje de la suspensión

R: Repetición T°: Temperatura de incubación

Anexo 4. Datos de Tamaño de los gránulos de almidón nativo y modificado

			Gránulo Grande		Gránulo Pequeño	
%	**T (°C)**	**R**	**DM (µm)**	**Dm (µm)**	**DM (µm)**	**Dm (µm)**
0	0	0	28.160	23.342	2.205	1.732
20	40	R_1	38.834	25.555	14.795	13.554
20	40	R_2	42.624	27.998	9.829	7.788
20	50	R_1	32.658	25.496	6.034	6.900
20	50	R_2	34.745	31.120	5.382	5.348
20	60	R_1	34.984	22.489	4.655	4.289
20	60	R_2	30.685	17.766	10.868	7.623
30	40	R_1	43.272	26.535	3.891	3.655
30	40	R_2	39.158	25.753	7.489	7.173
30	50	R_1	31.698	23.284	2.842	1.994
30	50	R_2	49.111	38.854	3.968	3.847
30	60	R_1	39.810	23.121	6.470	5.647
30	60	R_2	33.961	28.119	5.913	4.386
40	40	R_1	30.467	20.654	7.530	7.221
40	40	R_2	40.243	24.972	5.631	3.988
40	50	R_1	37.884	25.150	4.928	4.605
40	50	R_2	43.102	27.689	3.102	2.868
40	60	R_1	31.636	25.969	5.371	3.140
40	60	R_2	37.972	22.596	5.281	4.914

Anexo 5. Propiedades térmicas del almidón de papa modificado (ANN)

Tratamiento	% Suspensión	T incubación (ºC)	ΔH (J/g)	T_o (ºC)	T_p (ºC)	T_f (ºC)
T1	20	40.00	18.16±0.20	58.43±0.01	61.95±0.11	68.59±0.16
T2	20	50.00	17.64±0.16	62.18±0.19	64.95±0.11	70.36±0.12
T3	20	60.00	4.85±0.11	69.01±0.11	72.08±0.12	76.16±0.13
T4	30	40.00	18.11±0.11	58.49±0.13	61.82±0.11	68.20±0.12
T5	30	50.00	17.65±0.10	59.51±0.20	62.52±0.15	68.98±0.11
T6	30	60.00	4.68±0.09	68.83±0.12	71.81±0.16	75.68±0.11
T7	40	40.00	16.68±0.10	58.81±0.11	62.09±0.20	68.57±0.12
T8	40	50.00	16.58±0.20	62.22±0.11	64.89±0.11	70.31±0.20
T9	40	60.00	4.89±0.09	68.39±0.12	71.41±0.10	75.53±0.20