

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



Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en las características físicas de geles de almidón de yuca *Manihot esculenta* Crantz modificado

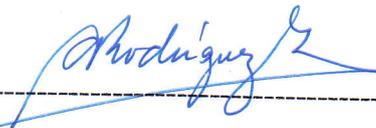
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PIER FRANCISCO PÉREZ SALDAÑA

TRUJILLO, PERÚ

2018

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



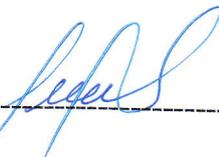
Ing. Dr. Antonio Rodríguez Zevallos

PRESIDENTE



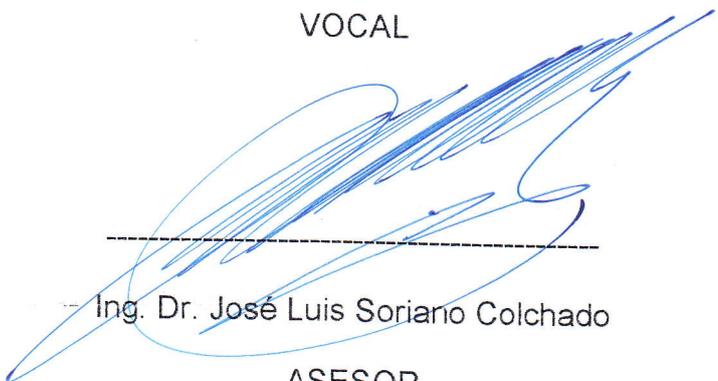
Ing. Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna

SECRETARIO



Ing. Ms. Max Vásquez Senador

VOCAL



Ing. Dr. José Luis Soriano Colchado

ASESOR

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, porque sin Él nada es posible, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Juan y Mercedes, así como a mi hermana Cinthya; los pilares más importantes en mi formación personal y en todo ámbito por demostrarme siempre su cariño y apoyo.

A mi enamorada, Fanny, que siempre ha estado junto a mí, por demostrarme su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Juan y Mercedes, así como a mi hermana Cinthya; quienes me apoyaron en todo momento en la realización de la presente tesis, dándome todo el apoyo necesario.

A mis docentes universitarios, en especial a mi asesor Ing. Dr. José Luis Soriano Colchado y la Ing. Gabriela Barraza Jauregui, que compartieron sus enseñanzas, guiaron mi desarrollo académico e hicieron posible esta tesis.

A mi enamorada, Fanny, que estuvo siempre apoyándome y alentándome cada día para poder cumplir mis metas, en este caso la tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	5
2.1. Yuca.....	5
2.1.1. Generalidades	5
2.1.2. Variedades de yuca.....	6
2.1.3. Industrialización de la yuca.....	8
2.2. Almidón de yuca.....	11
2.3. Almidones modificados.....	12
2.4. Modificación física del almidón.....	13
2.4.1. Almidón pre gelatinizado.....	13
2.4.2. Almidón tratado con calor húmedo (HMT).....	14

2.4.3. Almidón Recocido (ANN).....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Lugar de ejecución.....	17
3.2. Materiales y equipos.....	17
3.3. Método experimental de la investigación en almidón de yuca.....	18
3.3.1. Esquema experimental de la investigación en almidón de yuca.....	18
3.3.2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón nativo de yuca.....	20
3.3.3. Elaboración del almidón modificado (ANN).....	23
3.4. Métodos de análisis.....	23
3.4.1. Tamaño de los gránulos.....	23
3.4.2. Poder de hinchamiento y solubilidad.....	23
3.4.3. Estabilidad en refrigeración y congelación.....	24
3.4.4. Claridad de las pastas.....	24
3.4.5. Firmeza de gel.....	24
3.5. Análisis estadístico.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en el tamaño de gránulos de almidón de yuca	26
4.2. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en el poder de hinchamiento y de solubilidad de almidón de yuca.....	29
4.3. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en la claridad de pastas de almidón de yuca.....	34
4.4. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en la firmeza de geles de almidón de yuca.....	37
4.5. Estabilidad en la refrigeración y en la congelación de geles de Almidón de yuca.....	40
V. CONCLUSIONES.....	50
VI. RECOMENDACIONES.....	51

VII. BIBLIOGRAFÍA.....	52
VIII. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Codificación de los tratamientos evaluados.....	18
Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca.....	27
Cuadro 3. Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	27
Cuadro 4. Prueba de Duncan para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	28
Cuadro 5. Prueba de Levene modificada para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca.....	31
Cuadro 6. Análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	32
Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de solubilidad de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	32
Cuadro 8. Prueba de Duncan para valores de poder de hinchamiento de almidón de yuca modificado (AAN) variedad Blanca	33
Cuadro 9. Prueba de Levene modificada para valores de claridad (% transmitancia) de pastas de almidón de yuca modificado (ANN)	35

Cuadro 10.	Análisis de varianza para valores de claridad (% transmitancia) de almidón de yuca modificado (ANN)	35
Cuadro 11.	Prueba de Duncan para valores de claridad (% transmitancia) en almidón de yuca modificado (ANN)	36
Cuadro 12.	Prueba de Levene modificada para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	38
Cuadro 13.	ANVA para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	39
Cuadro 14.	Prueba de Duncan para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	39
Cuadro 15.	Prueba de Levene modificada para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	42
Cuadro 16.	Análisis de varianza para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	42
Cuadro 17.	Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 1)	43
Cuadro 18.	Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 3)	44
Cuadro 19.	Prueba de Levene modificada para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca	45

Cuadro 20.	Análisis de varianza para valores de sinéresis (%) de geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado durante tres días a - 18 °C	46
Cuadro 21.	Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 3)	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema experimental para evaluar el efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas del almidón de yuca modificado (ANN).....	19
Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca.....	22
Figura 3. Tamaño del gránulo de almidón de yuca nativo y modificado (ANN).....	26
Figura 4. Poder de hinchamiento de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca.....	29
Figura 5. Solubilidad de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca.....	30
Figura 6. Porcentaje de transmitancia de muestras de almidón de yuca modificado (ANN).....	34
Figura 7. Firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca.....	37
Figura 8. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 1).....	40
Figura 9. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 3).....	41
Figura 10. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 1).....	44
Figura 11. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 3).....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Diagrama de flujo para la elaboración del almidón modificado (ANN).....	58
Anexo 2. Características físicas de almidón de yuca modificado (ANN).....	59
Anexo 3. Imágenes de los gránulos de almidón nativo y modificado.....	60

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la concentración de la suspensión y la temperatura de tratamiento en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad, claridad de la pasta, firmeza de gel, estabilidad en refrigeración y congelación) de almidón de yuca modificado. Para elaborar las muestras de almidón modificado (ANN) se prepararon suspensiones de almidón extraído de yuca variedad Blanca, a tres concentraciones (20, 30 y 40 % p/p) para luego ser incubadas a dos temperaturas (40 y 50 °C) durante 8 horas. Las muestras tratadas, posteriormente fueron centrifugadas (4000 rpm), lavadas y secadas 37° C durante 24 horas, luego se envasaron y almacenaron a temperatura ambiente para su posterior análisis. El análisis estadístico determinó que la concentración de la suspensión y la temperatura de tratamiento, tuvieron efecto significativo en el tamaño de gránulo y estabilidad en congelación (-18 °C), medido como sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) después de 3 días de almacenamiento, a diferencia de poder de hinchamiento, claridad de las pastas de almidón y estabilidad en refrigeración (4 °C), medido como sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) después de 3 días de almacenamiento, donde sólo se observó efecto significativo de la temperatura de tratamiento. Para firmeza del gel de almidón modificado sólo se observó efecto significativo de la concentración de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p). El tratamiento de modificación de almidón ANN (concentración de la suspensión: 40%; temperatura de tratamiento: 40°C) presentó menores valores para tamaño de gránulo (9.64 µm) y poder de hinchamiento (7.33 g/g), mayor claridad (54.03%) y firmeza (0.3 N) de gel y mayor estabilidad en refrigeración (6.98% sinéresis) y congelación (3.88% sinéresis) después de tres días de almacenamiento a 4 y -18 °C; por lo que podría recomendarse su aplicación en la formulación de alimentos envasados, refrigerados, congelados, fideos y productos de panificación.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the concentration of the suspension and the treatment temperature on the physical characteristics (size of the granules, swelling power and solubility, clarity of the paste, gel firmness, stability in refrigeration and freezing) of modified cassava starch. To prepare the modified starch (ANN) samples, suspensions of starch extracted from cassava variety Blanca were prepared at three concentrations (20, 30 and 40% w / w) and then incubated at two temperatures (40 and 50 ° C) during 8 hours. The treated samples were subsequently centrifuged (4000 rpm), washed and dried at 37 °C for 24 hours, then packed and stored at room temperature for further analysis. The statistical analysis determined that the concentration of the suspension and the treatment temperature had a significant effect on the granule size and freezing stability (-18 °C), measured as syneresis (%) in modified cassava starch gels (ANN) after 3 days of storage, unlike the swelling power, clarity of the starch pastes and stability in refrigeration (4 °C), measured as syneresis (%) in modified cassava starch gels (ANN) after of 3 days of storage, where only a significant effect of the treatment temperature was observed. For the firmness of the modified starch gel, only a significant effect of the suspension concentration was observed (20, 30 and 40% w / w). The starch modification treatment ANN (suspension concentration: 40%, treatment temperature: 40 °C) showed lower values for granule size (9.64 μm) and swelling power (7.33 g / g), greater clarity (54.03%) and firmness (0.3 N) of gel and greater stability in refrigeration (6.98% syneresis) and freezing (3.88% syneresis) after three days of storage at 4 and -18 ° C; therefore, its application could be recommended in the formulation of packaged, refrigerated, frozen foods, noodles and bakery products.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de yuca en el Perú, en enero del 2015 creció en 29,5% con relación al mismo mes de 2014, que fue 87 mil toneladas. Los departamentos en los que se registraron los mayores incrementos de producción fueron Loreto (26%), Ucayali (65%) y Pasco (162%), como resultado de mayores áreas cosechadas, que de una mejora de rendimientos. Al igual que en el caso del arroz, el precio promedio en chacra de yuca en el mes de enero fue de S/. 0.55 el kg, precio ligeramente mayor que el registrado en el mes anterior (S/. 0,53) y también que el observado en el mismo mes del año anterior (S/. 0.52) (MINAGRI, 2015).

El cultivo de la yuca tiene una gran importancia para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos, especialmente en las regiones propensas a la sequía y de suelos áridos. Es el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz y es un componente básico en la dieta de más de 1000 millones de personas. Entre sus principales características se destacan su gran potencial para la producción de almidón, su tolerancia a la sequía y a los suelos degradados y su gran flexibilidad en la plantación y la cosecha adaptándose a diferentes condiciones de crecimiento. Tanto sus raíces como sus hojas son adecuadas para el consumo humano; las primeras son fuente de hidratos de carbono y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas, particularmente carotenos y vitamina C (Aristizábal y Sánchez, 2007).

A causa de la estacionalidad de las lluvias, gran parte de la producción de yuca se concentra en ciertas épocas del año. Esta situación ocasiona a la agroindustria de la yuca una escasez de mateproblemria prima durante

algunos meses del año y abundancia en otros, pérdidas de las raíces frescas que se almacenan durante largo tiempo en épocas de oferta excesiva y oscilaciones en los precios de la materia prima y del almidón. Si se considerara el cultivo de la yuca como un producto estratégico y base para el desarrollo de numerosas industrias y se le diera el tratamiento correspondiente en cuanto a inversiones, esta raíz seguramente podría favorecer el desarrollo del sector agroalimentario e industrial de los países en desarrollo contribuyendo a la generación de riqueza y de empleo rural y urbano. Sin embargo, para hacer viable su consolidación se deben desarrollar sistemas de producción rentables y sostenibles por lo cual, es cada vez más urgente la adaptación, desagregación o generación de tecnologías que, una vez incorporadas, fortalezcan la cadena productiva y sus derivados industriales, como el almidón (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Uno de los principales productos de la industrialización de la yuca 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 gelatinización del almidón, lo que resulta en la sinéresis o separación de agua en almidón de los sistemas alimentarios. Sin embargo, estas deficiencias del almidón nativo podrían superarse, por ejemplo, mediante la introducción de grupos iónicos o hidrófobos en 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 hacer que el almidón sea adecuado para numerosas aplicaciones alimentarias e industriales (Xie y otros, 2005).

La yuca continúa su transición hacia un mercado orientado a productos y materias primas para la industria de procesamiento. Mientras más del 60-70 por ciento de los suministros de la yuca todavía se destina para comidas tradicionales, la capacidad de la industria de almidón de yuca está aumentando significativamente. Dentro de la industria se ha puesto en evidencia una tendencia hacia la utilización de almidón modificado e hidrolizado, en preferencia a la utilización de almidón nativo (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Por lo que, la incorporación de nuevas tecnologías en el sector de transformación de la yuca (modificación de almidones) implicaría el aprovechamiento integral de la planta de yuca con técnicas de cultivo ambientalmente sostenibles. Estas incorporaciones constituyen el motor de un desarrollo tecnológico sostenible para el cual es indispensable trabajar en la identificación de nichos de mercado para productos procesados y en los factores que harían viable el desarrollo de la agroindustria de la yuca: la producción de material vegetal para la reproducción de nuevas variedades, la transferencia de tecnología, los estudios de factibilidad de proyectos agroindustriales, la identificación de mercados internos y externos y la aplicación de tecnologías de procesamiento, entre otros, ya que la economía se ha transformado y la globalización exige esquemas más competitivos (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Por lo anteriormente expuesto, es que se sustenta la importancia de realizar este trabajo de investigación, ya que permitiría brindar a los productores otra alternativa de industrialización del almidón de yuca, incentivando de esta manera su autodesarrollo.

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de la concentración de la suspensión (20, 30 y 40% p/p) y la temperatura de tratamiento (40 y 50 °C) en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad, claridad de la pasta, firmeza de gel, estabilidad en refrigeración y congelación) de almidón de yuca modificado?

Los objetivos propuestos para la presente investigación fueron los siguientes:

Evaluar el efecto de la concentración de la suspensión (20, 30 y 40%) y la temperatura de tratamiento (40 y 50°C) en las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad, claridad de la pasta, firmeza de gel, estabilidad en refrigeración y congelación) de almidón de yuca modificado.

Determinar la concentración de la suspensión y la temperatura de tratamiento que permitan obtener las características físicas (tamaño de los gránulos, poder de hinchamiento y solubilidad, claridad de la pasta, firmeza de gel, estabilidad en refrigeración y congelación) de almidón de yuca modificado más adecuadas.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Yuca

2.1.1. Generalidades

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pertenece a la familia Euphorbiaceae. Esta familia está constituida por unas 7200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras que producen una secreción lechosa. Su nombre científico fue dado originalmente por Crantz en 1766. Posteriormente, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot* de las cuales sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada. Su reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual (Ceballos y de la Cruz, 2002).

La yuca es una de las fuentes más ricas de almidón del cual sus raíces contienen más de 30 por ciento. A nivel mundial la utilización del almidón se destina a fines industriales como papel, cartón, dextrinas, colas, textiles, resinas, maderas compuestas, productos farmacéuticos, edulcorantes, alcohol, entre otros. Estos productos, aunque representan un bajo porcentaje del uso de la producción mundial de yuca, son los que tienen mayor valor agregado en el mercado. La harina, almidón y otros productos para alimentación humana de gran valor agregado como trozos deshidratados, copos, productos para refrigerios, mezclas para tortas, panadería, tallarines, helados son los que se intensificarán según el análisis de las nuevas tendencias (FIDA y FAO, 2000).

2.1.2. Variedades de yuca

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva en el banco de germoplasma in vitro que constituye la mayor colección de yuca del mundo, 6073 clones discriminados en 5724 clones de *Manihot esculenta* Crantz, que incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados y material genético y 349 accesiones correspondientes a 33 especies silvestres. El CIAT asigna un código único específico y permanente a las variedades colectadas; en caso que el clon desaparezca, su código nunca será asignado a otro clon. En la nomenclatura para los clones de yuca también son importantes los nombres vulgares, regionales o comunes. Usualmente, los agricultores designan las variedades con nombres muy sencillos que guardan relación con alguna característica de la planta o con su procedencia. Por ejemplo: algodonas, variedades de fácil cocción; rojitas, variedades de pecíolos rojos; llaneras, variedades procedentes de los Llanos; negritas, variedades de tallo o cogollo oscuro. El uso del nombre vulgar tiene limitaciones y se presta para confusiones ya que un mismo nombre vulgar puede atribuirse a genotipos diferentes contrastantes (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Otra nomenclatura corresponde a los materiales liberados; es común que las instituciones de fito mejoramiento liberen materiales de yuca con nombres comunes que guardan relación con detalles particulares del clon o del sitio de liberación, como por ejemplo: venezolana, panameña, brasileña, americana (Jaramillo, 2002).

La presencia de glucósidos cianogénicos tanto en raíces como en hojas es un factor determinante en el uso final de la yuca. Muchas variedades llamadas dulces tienen niveles bajos de estos glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura luego de los procesos normales de cocción. Otras variedades llamadas amargas tienen niveles tan

elevados de glucósidos que necesitan un proceso adecuado para que puedan ser aptas para el consumo humano; por ello estas variedades son generalmente utilizadas para procesos industriales. Contrariamente a lo que se cree, no existe una relación definida entre el sabor amargo o dulce y el contenido de glucósidos cianogénicos (Aristizábal y Sánchez, 2007).

La diferenciación entre variedades amargas y dulces no siempre es precisa, ya que el contenido de glucósidos cianogénicos no es constante dentro de una variedad y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo. Por lo tanto, una variedad de yuca puede ser clasificada como amarga en una localidad y como dulce en otra. Aparentemente, en los suelos fértiles se incrementa el sabor amargo y la concentración de glucósidos cianogénicos. Las yucas amargas son más comunes en el área amazónica y en el Caribe, mientras que las dulces se encuentran con mayor frecuencia en el norte de América del Sur (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Dependiendo del uso final de la yuca, esta puede ser clasificada como de calidad culinaria cuando se destina al consumo humano directo; como industrial cuando se usa para la producción de subproductos tales como harina, almidón, trozos secos como de doble propósito, es decir, fenotipos que podrían ser usados tanto para el consumo humano como industrial. Esta variabilidad da lugar a que el agricultor venda para el mercado en fresco si los precios son altos o, en caso contrario que venda las raíces para procesos industriales, por lo general a un precio considerablemente menor (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Esta estrategia ha interferido con el uso industrial de la yuca porque no permite un suministro constante y confiable de la materia prima. Actualmente, los programas de mejoramiento genético están dirigidos a la búsqueda de variedades específicas para la industria, ya que las

variedades de doble propósito resultaban, en algunos casos inadecuadas para consumo en fresco o para la industria (Ceballos, 2002).

2.1.3. Industrialización de la yuca

Según Aristizábal y Sánchez (2007), existen diferentes productos elaborados a partir de la yuca que dependiendo de la región donde se cultive esta raíz constituyen productos autóctonos o típicos de cada población. Entre los más conocidos se encuentran farinha, raspa, tapioca, gari, casabe, almidón agrio de yuca, harina de yuca.

Farinha

Las raíces se limpian superficialmente y son ralladas, luego se envuelve esta masa en hojas y se le comprime con un instrumento adecuado, que permiten retirar la mayor cantidad de líquido posible. Este material se mezcla con un poco de pulpa que se ha dejado fermentar durante tres días para darle mejor calidad. La pasta se amasa y se pasa por un cedazo obteniéndose una harina ligeramente húmeda. Después se coloca en un recipiente sobre un horno plano cubierto en su parte superior de losas de granito, con lo que se consigue un calor uniforme sin peligro de que se queme la pasta. Con una pala de madera, se da vueltas a la pulpa continuamente durante 3-4 horas de cocción, obteniéndose un producto granular y apenas tostado. Si se mantiene seca, la farinha puede conservarse indefinidamente. Constituye un excelente preparado que se consume generalmente como el arroz y es muy usada en Brasil, acompañado con otros alimentos, especialmente carne y salsa (Grace, 1997).

Raspa

Las raíces peladas se cortan en trozos grandes y se secan. El producto seco se muele, se tamiza y la harina conocida como farinha de raspa, se

mezcla con la harina de trigo para la fabricación de pan, macarrones y galletas. Es un producto elaborado en Brasil (Grace, 1977).

Tapioca

Se obtiene del lavado de masa rallada de yuca, sobre un trapo, encima de un recipiente de madera, agitándose cada parte en aguas distintas hasta que se ha extraído casi todo el almidón. Los recipientes con la lechada de almidón se dejan aparte para que esta se asiente. Después de algún tiempo se decanta el agua y se extiende el almidón al sol en esteras de caña, en las que se seca durante dos días, obteniéndose la harina de tapioca. Este producto se usa en Brasil para hacer tortas (Grace, 1977).

Gari

En áreas rurales, las raíces son peladas, ralladas y la pulpa se pone en un gran saco de tela y se deja al sol para escurrir y fermentar comprimida por pesos que se colocan sobre esta (piedras o maderos). Cuando la pulpa está suficientemente seca, se retira del saco para un secado final; esta se tuesta o fríe (a menudo con aceite de palma) hasta que se seca y se muele obteniéndose el producto en forma de harina gruesa. En el proceso de fermentación la masa se semi dextriniza por acción del calor, se libera el ácido cianhídrico a bajo pH por hidrólisis espontánea del glucósido cianogénico de la yuca y se desarrolla el sabor característico del gari. En la primera etapa del proceso, se producen ácidos láctico y fórmico por acción bacteriana sobre el almidón y finalmente a más bajo pH es atacado por un hongo que aumenta la acidificación y produce el aroma característico. Este alimento es popular entre los grupos de bajos ingresos de África occidental (Grace, 1977).

Harina industrial de yuca

La harina de yuca es obtenida es obtenida por el proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Las raíces de yuca son lavadas para

retirar las impurezas y la cascarilla y son troceadas en una picadora. Los trozos son secados al sol o artificialmente y una vez secos son molidos y tamizados para obtener la harina. La harina de yuca es usada para el consumo humano en la industria de la panificación, en la preparación de harinas compuestas trigo – yuca para la elaboración de pan y galletas, fideos y macarrones, como relleno para carnes procesados; como espesante de sopas deshidratadas, condimentos, papillas y dulce de leche y para la elaboración de harinas precocidas y mezclas instantáneas (Fernández y otros, 1992).

Almidón agrio de yuca

La obtención de almidón agrio o fermentado de yuca tiene las mismas etapas de producción del almidón nativo, con la diferencia de que incluye una etapa de fermentación previa al secado. Las raíces de yuca son lavadas para eliminar tierra e impurezas y retirar la cascarilla. Luego, son ralladas para liberar los gránulos de almidón y la masa obtenida es lavada y filtrada o colada en una tela y la lechada es decantada en canales. El almidón precipitado es traspasado a tanques donde fermenta en forma natural, en condiciones anaeróbicas, por aproximadamente 30 días y luego es secado al sol, lo que le da a este almidón propiedades de expansión en el horneado. El almidón agrio adquiere, además, características especiales de sabor, textura y olor que son deseables en la panificación. Se emplea en la elaboración de productos horneados como pan de bono, pan de yuca y bocadillos tales como «rosquillas» y «besitos». Este almidón es tradicional en Brasil y Colombia (Alarcón y Dufour, 1998).

También se preparan panes, rosquillas y tortas como: pan de yuca, pan de bono, enyucado, carimañolas, diabolines, croquetas de yuca, bollo de yuca, bibingka de yuca, torta de yuca y croquetas de yuca (Aristizábal y Sánchez, 2007).

2.2. Almidón de yuca

El almidón ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se le ha dado un gran número de usos industriales. Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética y su concentración varía según el estado de madurez de la fuente (Badui, 2012).

El almidón de yuca se obtiene de las raíces de la planta, que se encuentra en las regiones ecuatoriales entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio. El nombre de la yuca se aplica generalmente a las raíces de la planta, mientras que la tapioca es el nombre dado al almidón y otros productos transformados. El contenido de almidón en las raíces de yuca puede variar entre 15% a 33% y se diferencia de otros almidones por su bajo nivel de material residuales y menor contenido de amilosa. La mayor diversidad de usos de almidón de yuca es en la industria alimentaria, como ingrediente espesante y estabilizante, sin aporte de sabor, lo que permite la detección inmediata y completa del sabor de la comida (Breuninger y otros, 2009).

El almidón se compone de dos componentes moleculares principales, amilosa y amilopectina. El contenido de amilosa es un atributo importante de la calidad del almidón de yuca y determina diversas propiedades y propósitos de uso final. La forma de los gránulos se ha descrito como ovalado, truncado, y redondeado, siendo observado por diversas técnicas microscópicas (microscopía electrónica de barrido y microscopía de luz). La superficie de los gránulos de almidón de yuca, ha sido determinada por microscopía de fuerza atómica (AFM) en el modo de no contacto, para revelar los detalles estructurales y se ha observado

depresiones y salientes en la superficie de los gránulos de almidón, y en comparación con el almidón de papa, los gránulos de almidón de yuca, presentan una superficie más lisa. El tamaño de los gránulos varía desde aproximadamente 2 a 32 μm (Zhu, 2015).

2.3. Almidones modificados

Según Xie y otros (2005) 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 de almidón nativo podrían superarse, por ejemplo, mediante la modificación de su estructura mediante métodos físicos, químicos y biotecnológicos.

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).

2.4. Modificación física del almidón

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 y describe los procedimientos de preparación, sus propiedades y aplicaciones.

2.4.1. Almidón pre gelatinizado

A. Procedimientos de preparación

El almidón pre gelatinizado puede ser producido por cocción, por pulverización, secado en tambor, procesamiento con disolventes y extrusión. Durante un 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 a 160 a 175 °C durante 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 pregelatinizado es que al instante hidrata y se hincha en agua a temperatura ambiente. Sin embargo, finamente molido productos de almidones pregelatinizados son difíciles de dispersar 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 premezcla almidones pregelatinizados con otros ingredientes (Xie y otros, 2005).

C. Aplicaciones

El almidón pregelatinizado 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).

2.4.2. 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, esto es el pasaje del estado vítreo al gomoso o viceversa; pero por debajo de la temperatura de gelatinización. Sin embargo, la temperatura se elige a menudo sin tener en cuenta la temperatura de gelatinización (da Rosa Zavareze y Guerra, 2011).

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 suspensión de rayos X de ángulo ancho se alteran de tipo B a A- (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 (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 (da Rosa Zavareze y Guerra, 2011).

C. Aplicaciones

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 (da Rosa Zavareze y Guerra, 2011).

2.4.3. Almidón Recocido (ANN)

A. Definición y Preparación

El almidón recocido se obtiene por incubación del almidón en exceso de agua (> 60% p/p) o contenido de agua intermedio (40 a 55% p/p) a una temperatura entre la temperatura de transición vítrea, que es la conversión de un sólido vídrioso amorfo a un estado flexible plastificado, (Badui, 2012) y la temperatura de gelatinización durante un cierto período de tiempo. Este proceso aumenta la temperatura de gelatinización del almidón (Jayakody y Hoover, 2008).

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 (Jayakody y Hoover, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Esta investigación 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 Ingeniería de Operaciones de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo.

3.2. Materiales y equipos

- Yuca (20 kg) variedad blanca
- Material de vidrio
- Material de plástico
- Tamiz 100 μ
- 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.
- Licuadora 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 AxHD io star plus, con lámpara halógena de 20 W integrada y LED externo, con

cámara digital incorporada modelo Axio Cam 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. Analizador de textura. Marca TA-

3.3. Método experimental de la investigación en almidón de yuca

3.3.1. Esquema experimental de la investigación en almidón de yuca

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

Son variables independientes: concentración de la suspensión (20, 30 y 40% p/p) almidón/agua y temperatura de tratamiento (40 y 50 °C); y variables dependientes: las características físicas de almidón de yuca modificado (ANN).

En el Cuadro 1 se muestra la codificación de los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Codificación de los tratamientos evaluados

Tratamiento	% Suspensión	T incubación(°C)
T1	20.0	40.0
T2	20.0	50.0
T3	30.0	40.0
T4	30.0	50.0
T5	40.0	40.0
T6	40.0	50.0

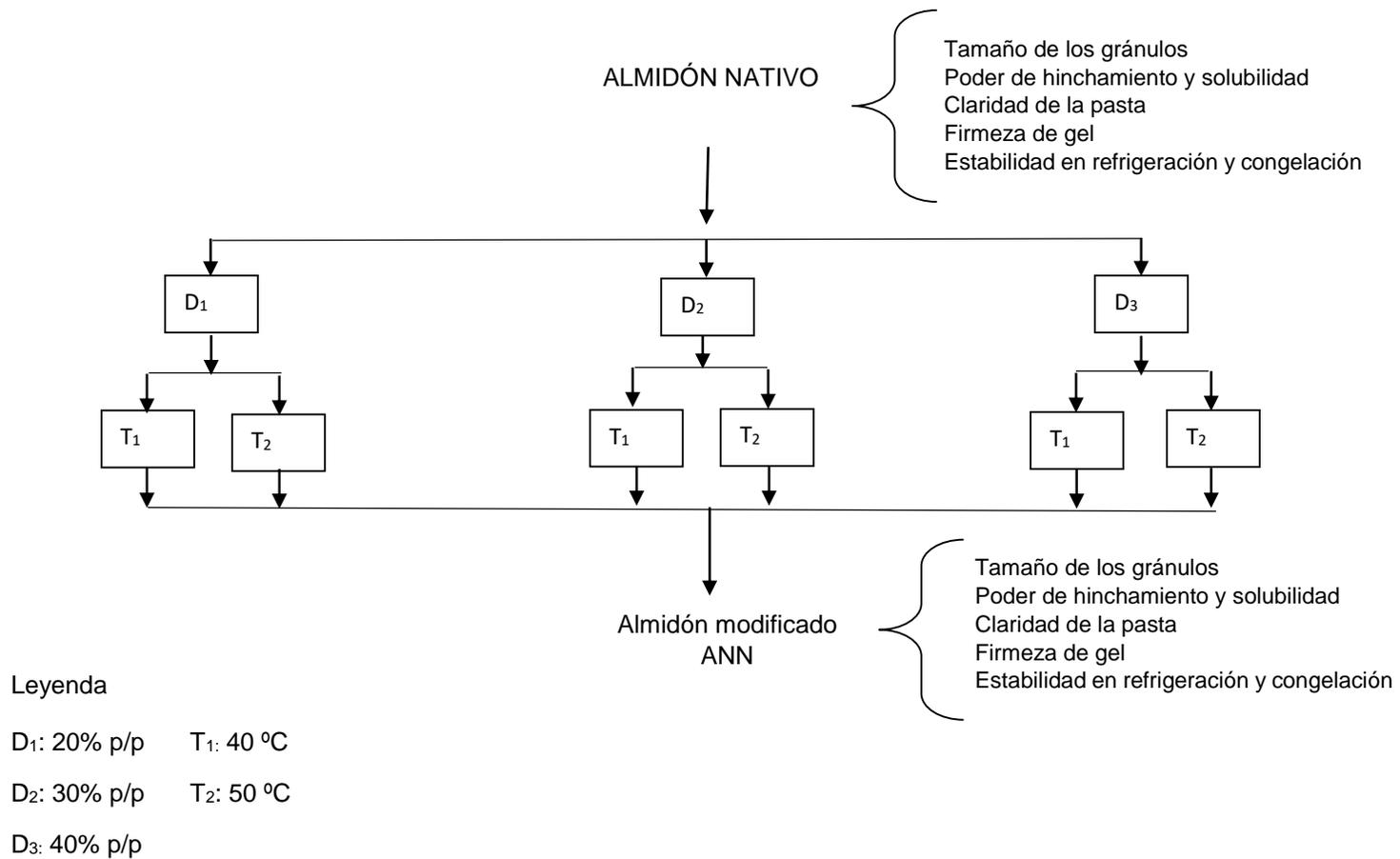


Figura 1. Esquema experimental para la investigación en las características físicas del almidón de yuca modificado (ANN).

3.3.2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón nativo de yuca

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

A continuación, se describe cada operación presentada en el diagrama de flujo de la Figura 2.

Selección: 20 Kg de yuca variedad Blanca, 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 yucas, por aspersion con agua potable con el fin de extraer el material contaminante.

Pelado y corte: Las yucas 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 yuca durante 3 min a velocidad máxima, utilizando una licuadora industrial, con una relación de agua sulfitada: trozos de yuca 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 $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 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.

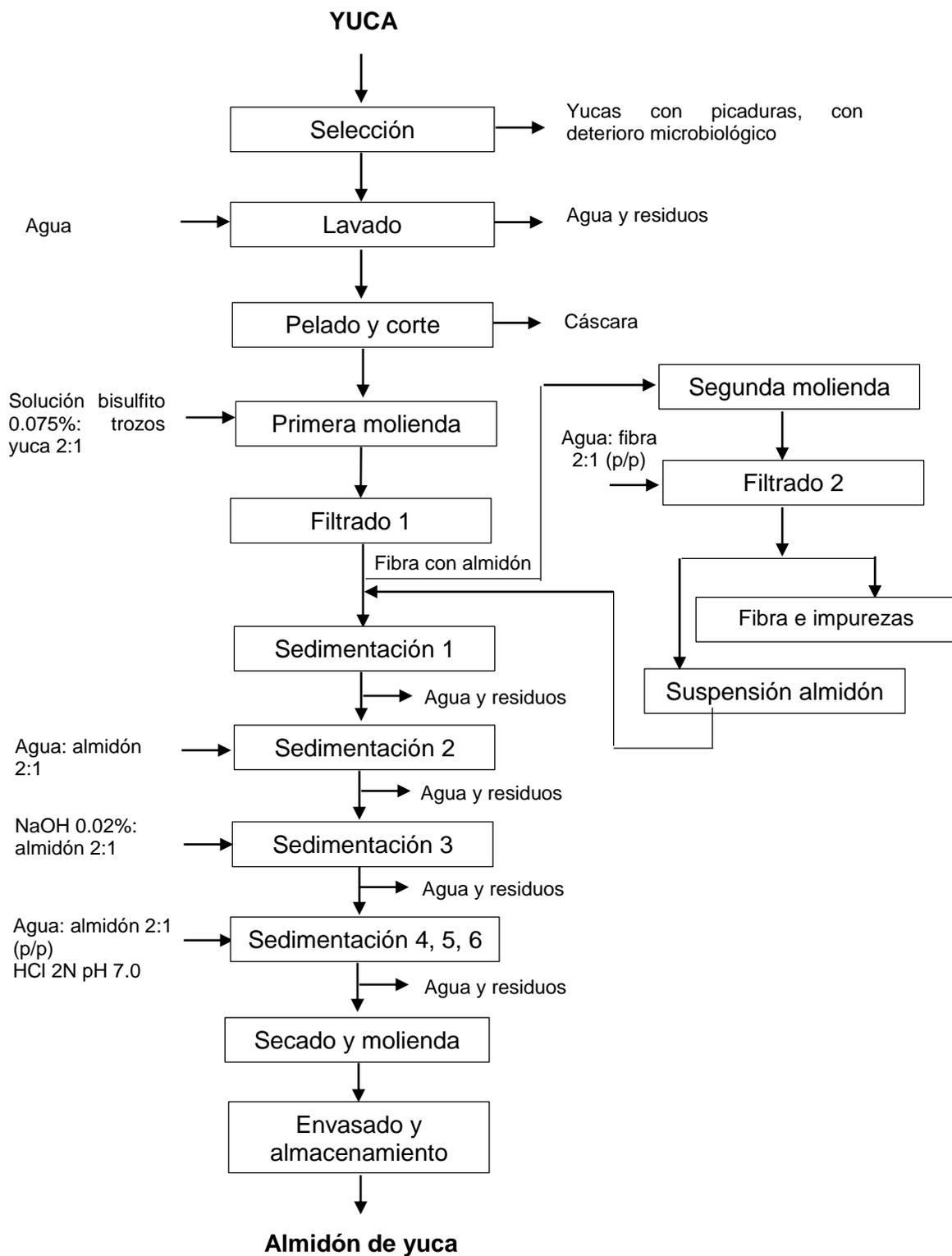


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca

3.3.3. Elaboración del almidón modificado (ANN)

Para elaborar las muestras de almidón de yuca modificado tipo ANN (Anexo 1) se prepararon suspensiones a tres concentraciones (20, 30 y 40 % p/p) para luego ser tratadas a dos temperaturas (40 y 50 °C) durante 8 horas, tal como lo describe Singh y otros (2011). Las muestras tratadas, posteriormente fueron centrifugadas (4000 rpm) durante 15 min, lavadas una vez con agua destilada y secadas a 37 °C 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. Tamaño de los gránulos

El tamaño de los gránulos se determinó mediante observación microscópica directa, utilizando microscopio de luz, marca Zeiss modelo AxHD io star plus, con cámara digital incorporada y software ZEISS. 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 preparó una suspensión al 2% (p/p) de almidón en agua destilada en tubo de vidrio y se calentó en un baño de agua a 80°C durante 30 min, posteriormente se centrifugó a 4500 rpm durante 20 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) y S (%) se calculó mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$PH \text{ (g/g)} = \frac{PAS}{[PS*(1-S)]} \quad (1)$$

$$S \text{ (%) } = \frac{PSOS}{PS} * 100 \quad (2)$$

Donde:

PAS: peso almidón sedimentado

PS: peso almidón seco

PSOS: peso sobrenadante seco

3.4.3. Estabilidad en refrigeración y congelación

Para evaluar la estabilidad de las muestras de almidón de yuca, nativo y modificado, se siguió el procedimiento mencionado por Hernández y otros (2008).

Se prepararon suspensiones de almidón al 6% en tubos de vidrio y se calentaron en Baño María a 90°C durante 30 minutos. Se enfriaron a 25°C y se taparon con torundas de algodón sumergidas en alcohol y sellaron con papel aluminio. Se almacenaron a 4 y -18 °C y evaluaron después de 3 días, acondicionándose a temperatura de 25 °C antes de su evaluación.

Se evaluó la sinéresis centrifugando los tubos a 4500 rpm por 20 min. Se descartó el sobrenadante y se pesó el tubo con el gel precipitado.

3.4.4. Claridad de pastas

Se prepararon suspensiones de almidón al 1% (p/p) en vasos de precipitado y se calentaron en Baño de María 90 °C por 30 min

y posteriormente se enfriaron a 25 °C. La claridad de las pastas de almidón se evaluó determinando el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm (Hernández y otros, 2008).

3.4.5. Firmeza de gel

Para evaluar la firmeza de los geles de almidón nativo y modificado, se prepararon suspensiones de almidón al 12% (b.s.) y se calentaron en un agitador magnético con sistema de calentamiento controlado por sonda, a 80 ° C durante 30 min. Las pastas de almidón gelatinizado se colocaron en placas Petri de 5 cm de diámetro y se almacenaron a 4 ° C por 24 h. Antes de la lectura se niveló la altura del gel con un hilo metálico y se midió la fuerza de compresión del gel con un Analizador de Textura (Martínez y otros, 2015). El gel se colocó perpendicularmente en el plato de metal del equipo y se comprimió a una velocidad de 1 mm/segundo, con una probeta de 5 mm, usando una celda de 5 kg (Hernández y otros, 2008).

3.5. Análisis estadístico

El diseño estadístico correspondió a un arreglo factorial de 3*2 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 de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en las características físicas del almidón de yuca modificado (ANN), se aplicó la Prueba de Levene para evaluar homogeneidad de varianzas, posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANVA) ($\alpha=0.05$) y finalmente la Prueba de comparaciones múltiples de Duncan, todas con un nivel de confianza del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en el tamaño de los gránulos de almidón de yuca

En la Figura 3 (Anexo 2) se muestra los valores de tamaño del gránulo de almidón de yuca nativo y modificado tipo ANN, variedad Blanca.

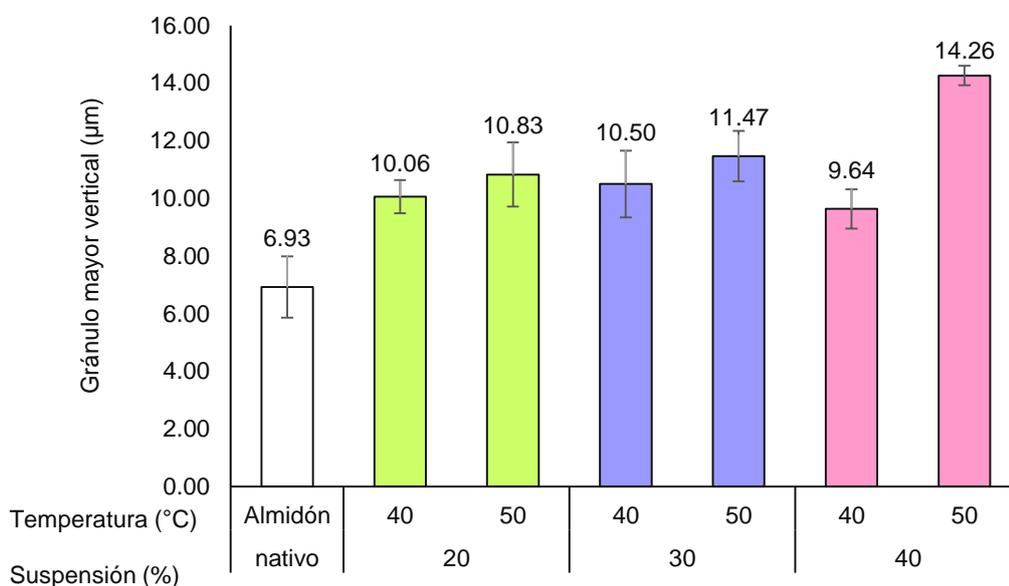


Figura 3. Tamaño del gránulo de almidón de yuca nativo y modificado (ANN).

Tal como se observa el tamaño del gránulo del almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, se encontró en un rango de 9.64 a 14.26 µm, indicando que el tratamiento de recocido incrementó el tamaño de los gránulos, con respecto al almidón nativo (6.93 µm) en todos los tratamientos.

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 de recocido (ANN).

En el Cuadro 2, se muestra la prueba de Levene modificada para tamaño del gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) 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 2. Prueba de Levene modificada para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Característica	Estadístico de Levene	p
Tamaño del gránulo (μm)	0.130	0.983

En el Cuadro 3 se observa el análisis de varianza para tamaño del gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, donde se muestra que la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento afectaron significativamente ($p < 0.05$) el tamaño de gránulo.

Cuadro 3. Análisis de varianza para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Suspensión: S	9.048	2	4.524	9.419	0.003
Temperatura: T	22.984	1	22.984	47.855	0.000
S*T	12.711	2	6.356	13.233	0.001
Error	5.763	12	0.480		
Total	50.507	17			

En el Cuadro 4 se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para valores de tamaño de gránulo almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, donde se puede apreciar que existió diferencia significativa entre los tratamientos denotado por la formación de subgrupos. De igual modo, se observa que el tratamiento (T5) presentó el menor tamaño de gránulo (9.49 μm).

Cuadro 4. Prueba de Duncan para valores de tamaño de gránulo de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto			
			1	2	3	4
Almidón nativo			6.93			
T5	40	40	9.64			
T1	20	40	10.06		10.06	
T3	30	40	10.50		10.50	
T2	20	50	10.83		10.83	
T4	30	50				11.47
T6	40	50				14.26

Estos resultados no concuerdan con los reportados por Waduge y otros (2006) quienes no observaron diferencia significativa, en el tamaño de los gránulos después del tratamiento de recocido (ANN) de almidón extraído de algunos cultivares de cebada.

4.2. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en el poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de yuca

Los valores del poder de hinchamiento y solubilidad del almidón de yuca nativo y modificado (ANN) se presentan en las Figuras 4 y 5 respectivamente, observándose una reducción en ambas características, en comparación con el almidón nativo de yuca, el cual presentó un poder de hinchamiento y solubilidad de 26.14 ± 0.15 g agua/g almidón y $6.11 \pm 0.25\%$ a 80°C . Los resultados se muestran en el Anexo 2.

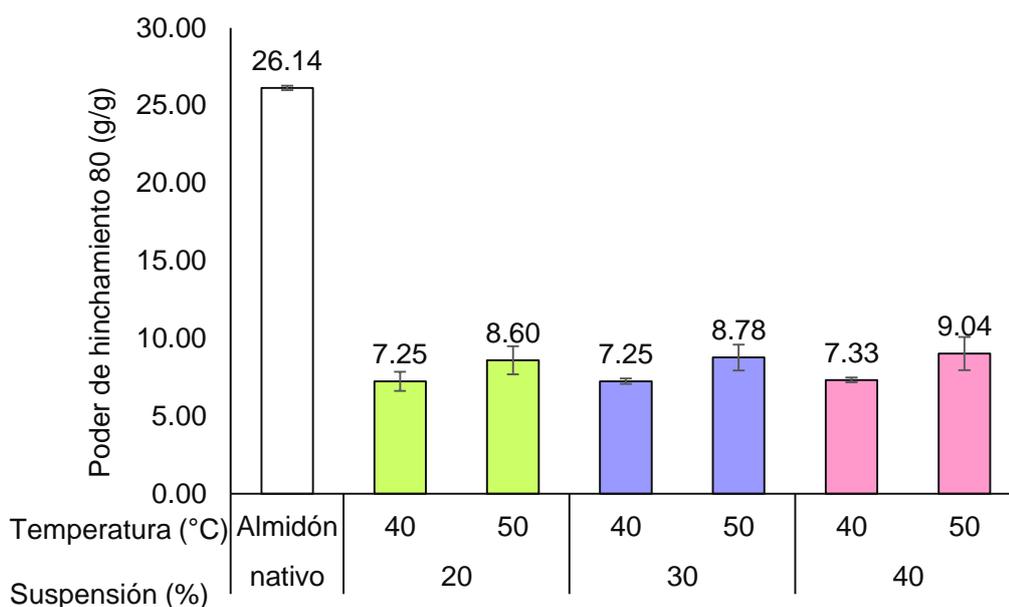


Figura 4. Poder de hinchamiento de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca.

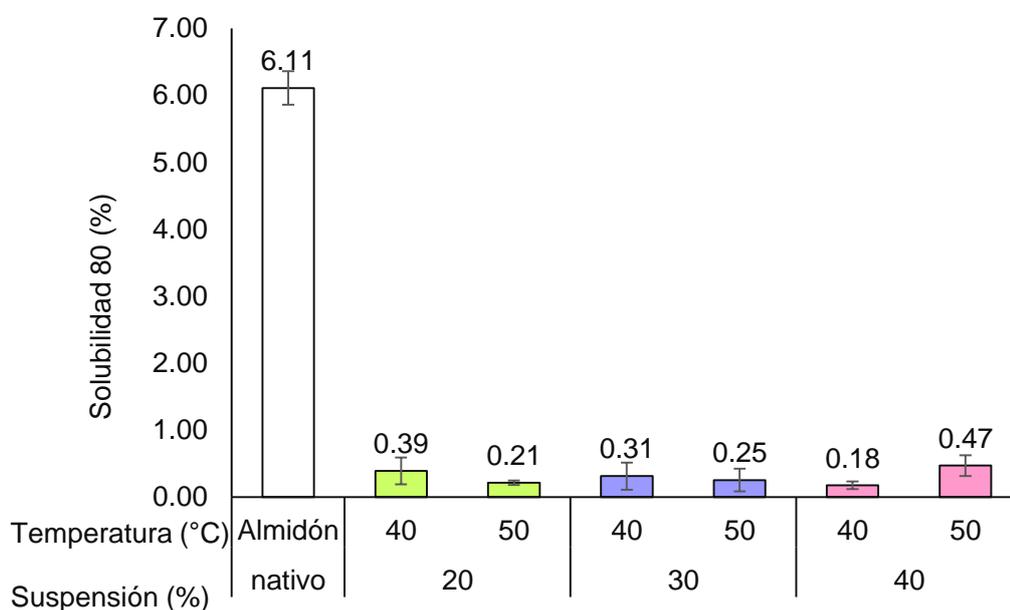


Figura 5. Solubilidad de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca.

Da Rosa Zavareze y Guerra (2011) indican que el tratamiento recocado (ANN), generalmente reduce el poder de hinchamiento del almidón y es en gran medida influenciado por la cristalinidad y el grado de interacción entre la amilosa y/o amilopectina, que reducen la hidratación de las regiones amorfas del almidón. Esta reducción de la hinchazón granular debido a ANN ha sido también observado en almidón de papa (Hoover y Vasanthan, 1994). Adicionalmente, Gomes, y otros (2005) explican la solubilidad reducida de almidón recocado es debido al fortalecimiento de los lazos entre amilosa y amilopectina o entre moléculas de amilopectina que originan un incremento en la organización molecular, responsable de la reducción en el poder de hinchamiento y la solubilidad del almidón.

De igual modo, se ha informado que el tratamiento recocado (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).

En el Cuadro 5, se muestra la prueba de Levene modificada para poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca 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 yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Característica	Estadístico de Levene	P
Poder de hinchamiento (g/g)	0.520	0.759
Solubilidad (%)	0.560	0.731

En los Cuadros 6 y 7 se presenta el análisis de varianza para valores de poder de hinchamiento y solubilidad de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, observándose que solo la temperatura de tratamiento presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el poder de hinchamiento, a diferencia de la solubilidad, donde no se observó efecto significativo de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento.

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

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Suspensión: S	0.209	2	0.104	0.203	0.819
Temperatura: T	10.520	1	10.520	20.42	0.001
S*T	0.091	2	0.046	0.089	0.916
Error	6.182	12	0.515		
Total	17.002	17			

Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de solubilidad de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Suspensión: S	0.005	2	0.002	0.103	0.903
Temperatura: T	0.002	1	0.002	0.077	0.786
S*T	0.178	2	0.089	3.839	0.051
Error	0.278	12	0.023		
Total	0.463	17			

En el Cuadro 8, se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para poder de hinchamiento, 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 T1 (20%, 40 °C), T3 (30%, 40 °C) y T5 (40%, 40 °C) presentaron el menor poder de hinchamiento.

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

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto		
			1	2	3
T1	20	40	7.25		
T3	30	40	7.25		
T5	40	40	7.33		
T2	20	50		8.60	
T4	30	50		8.78	
T6	40	50		9.04	
Almidón nativo					26.14

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 modificado ANN (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 recocado (ANN) se debe principalmente a la presencia de una región cristalina que reduce el grado de hidratación de las regiones amorfas. Por el contrario, en almidones con contenido normal y con alto contenido de amilosa, las interacciones entre las cadenas de amilopectina y de amilosa-amilosa pueden ser responsables de la reducción de la hidratación.

Se ha demostrado que el tratamiento recocado (ANN) reduce el poder de hinchamiento en almidón de yuca (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).

4.3. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en la claridad de pastas de almidón de yuca

Los resultados correspondientes a los valores de claridad, expresados como porcentaje de transmitancia (Anexo 2), de pastas de almidón nativo y modificado de yuca (ANN) se muestran en la Figura 6 (Anexo 5).

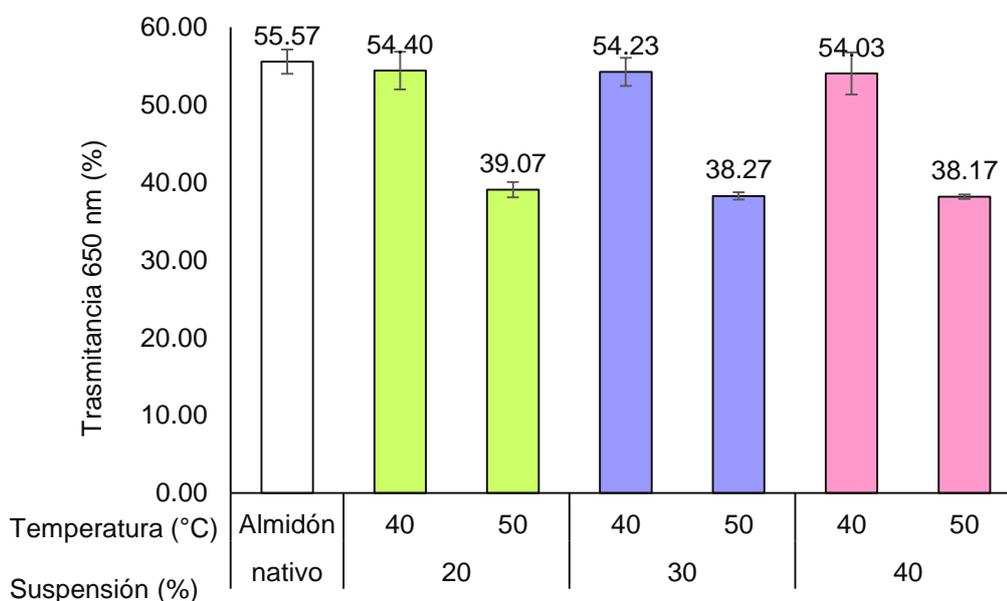


Figura 6. Porcentaje de transmitancia de muestras de almidón de yuca modificado (ANN).

Tal como se observa, todas las muestras de almidón ANN presentaron menor porcentaje de transmitancia, (menor claridad) que la muestra de almidón nativo. Esta reducción fue mayor en las muestras tratadas a la temperatura de 50 °C (T2, T4 y T6).

En el Cuadro 9, se muestra la prueba de Levene modificada para valores propiedades térmicas de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca 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 9. Prueba de Levene modificada para valores de claridad (% transmitancia) de pastas de almidón de yuca modificado (ANN)

Claridad	Estadístico de Levene	p
Trasmitancia ⁶⁵⁰ _{nm} (%)	1.030	0.443

En el Cuadro 10 se observa el análisis de varianza para valores de porcentaje de transmitancia en pastas de almidón de yuca modificado (ANN), donde se muestra que sólo la temperatura de tratamiento presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre dicha propiedad.

Cuadro 10. Análisis de varianza para valores de claridad (% transmitancia) de pastas de almidón de yuca modificado (ANN)

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
	Suspensión: S	Suspensión: S	1.314	2	0.657	0.80
	Temperatura: T	Temperatura: T	1112.347	1	1112.347	0.00
Trasmitancia (%)	S*T	S*T	0.348	2	0.174	0.94
	Error	Error	35.533	12	2.961	
	Total	Total	1149.543	17		

En el Cuadro 11, 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 T1 (20%, 40 °C), T3 (30%, 40 °C) y T5 (40%, 40 °C) presentaron mayor claridad.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para valores de claridad (% transmitancia) en almidón de yuca modificado (ANN)

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto	
			1	2
T6	40	50	38.17	
T4	30	50	38.27	
T2	20	50	39.07	
T5	40	40		54.03
T3	30	40		54.23
T1	20	40		54.40
Almidón nativo				55.57

Moorthy (2002) y Jayakody y Hoover (2008) señalan que el tratamiento recocido (ANN) en almidón de yuca reduce la claridad de las pastas mediante el fortalecimiento de las fuerzas asociativas entre cadenas de amilosa-amilosa o amilosa-amilopectina.

4.4. Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en la firmeza de geles de almidón de yuca

En la Figura 7 se muestra los resultados correspondientes a valores de firmeza en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) (Anexo 2).

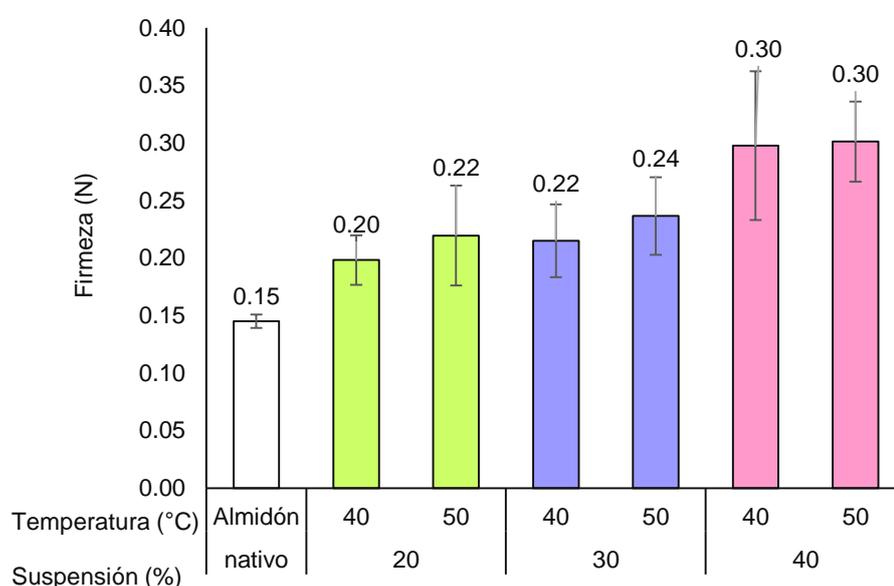


Figura 7. Firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Tal como se observa, la firmeza de los geles elaborados aumentó con incremento de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento. Esto resultados pueden deberse a que, el tratamiento recocado (ANN) causa un reordenamiento de las moléculas de almidón, lo que resulta en la reducción del poder de hinchamiento y la solubilidad; esta reducción en el volumen de gel promueve un aumento en la firmeza del gel (Chung y otros, 2000). Hormdok y Noomhorm (2007) también encontraron un aumento en la dureza del gel de almidón de arroz sometido a modificación ANN.

Singh y otros (2006) informaron que en el tratamiento recocido (ANN), la temperatura y el tiempo son los factores dominantes que afectan la firmeza del gel.

Singh y otros (2011) informaron aumento de la firmeza del gel en almidón de sorgo modificado (ANN) (4.1 N), con concentración de la suspensión de 20% a la temperatura de tratamiento de 50 °C durante 24 h, con respecto al valor reportado para el almidón nativo (3.65 N) y atribuyeron este aumento al incremento de la reticulación entre cadenas de amilosa. En consecuencia, la formación de más zonas de unión en la fase continua del gel, lleva a un aumento de firmeza del gel (Liu y otros, 2000).

En el Cuadro 12, se muestra la prueba de Levene modificada para valores de firmeza de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca 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 12. Prueba de Levene modificada para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Variable	Estadístico de Levene	p
Firmeza (N)	0.410	0.835

En el Cuadro 13, se muestra el análisis de varianza para valores de firmeza de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca observándose que sólo la concentración de la suspensión presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta propiedad.

Cuadro 13. ANVA para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Variable	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Firmeza (N)	Suspensión: S	0.028	2	0.014	8.454	0.005
	Temperatura: T	0.001	1	0.001	0.647	0.437
	S*T	0.000	2	0.000	0.098	0.907
	Error	0.020	12	0.002		
	Total	0.049	17			

En el Cuadro 14, se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN), 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 T4 (30%, 50 °C), T5 (40%, 40 °C) y T6 (40%, 50 °C) presentaron mayores valores de firmeza: 0.24, 0.30 y 0.30 N, respectivamente.

Cuadro 14. Prueba de Duncan para valores de firmeza en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto		
			1	2	3
	Almidón nativo		0.15		
T1	20	40	0.20	0.20	
T3	30	40		0.22	
T2	20	50		0.22	
T4	30	50		0.24	0.24
T5	40	40			0.30
T6	40	50			0.30

Según Cham y Suwannaporn (2010), el aumento de la fracción cristalina de los gránulos mediante el tratamiento de recocido (ANN) afecta las propiedades del gel de almidón, originada por un aumento en la movilidad de la fracción amorfa, lo que facilita el ordenamiento de dobles hélices y probablemente, un mayor orden en las regiones amorfas (Lin y otros, 2008).

4.5. Estabilidad en refrigeración y congelación de geles de almidón de yuca

En las Figuras 8 y 9 se muestran los resultados correspondientes a la estabilidad en refrigeración (4 °C), evaluada como porcentaje de sinéresis, en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca, después de tres días de almacenamiento (Anexo 2).

Los valores de sinéresis (%) para geles de almidón nativo fueron de 12.35% y 16.37% en los días 1 y 3 de almacenamiento a 4 °C, mayores que los encontrados en los geles de almidón modificado (ANN), cuyos valores estuvieron en el rango de 7.64% a 10.99% y 6.92% a 9.21%, respectivamente.

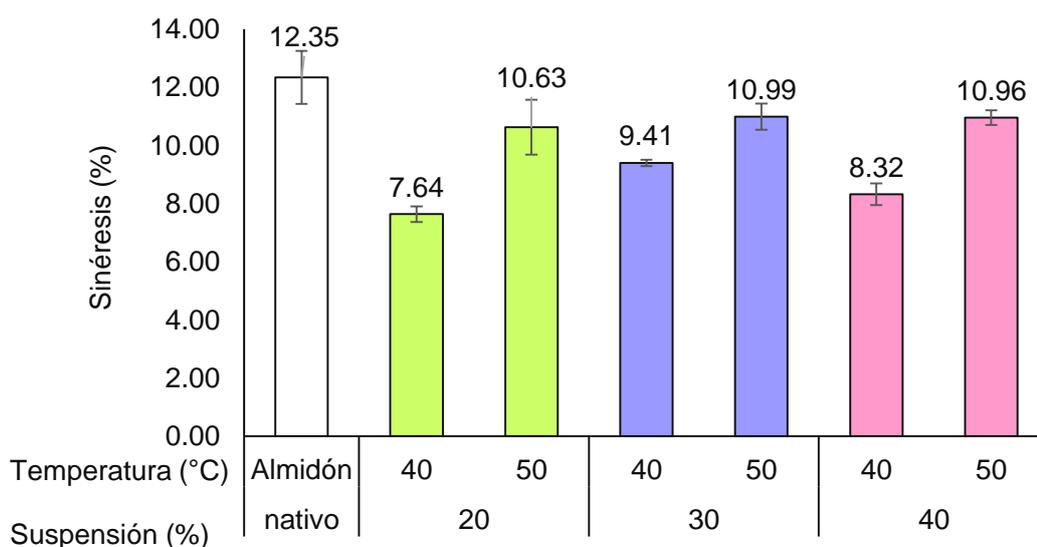


Figura 8. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 1)

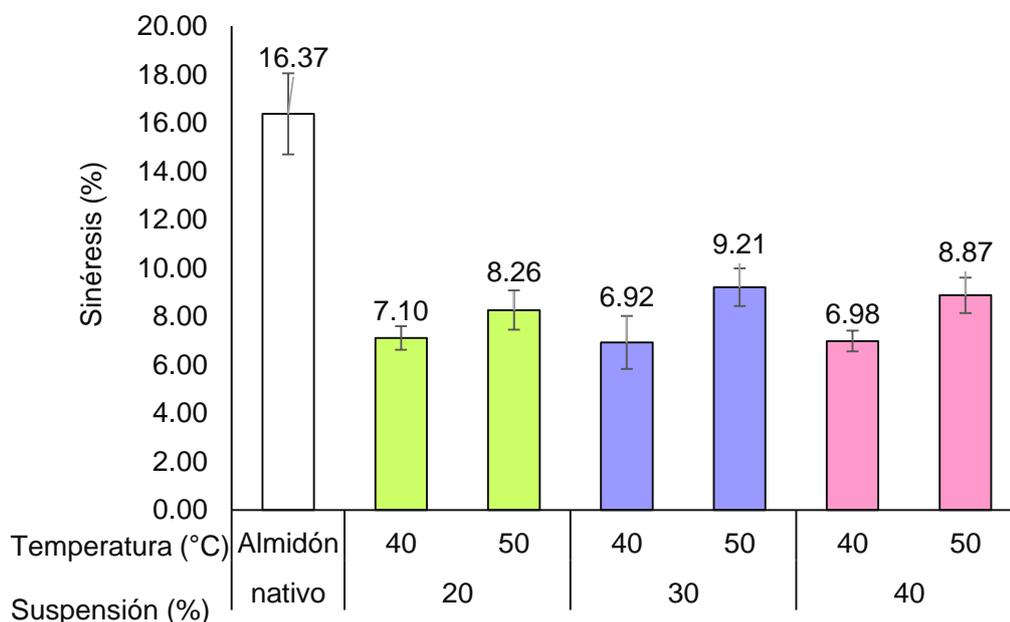


Figura 9. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 3)

Los valores de sinéresis (%) encontrados para el almidón de yuca modificado (ANN) fueron menores que el reportado para almidón de papa nativa variedad Solischa que alcanzó 37% de sinéresis en el día 4 de almacenamiento, pero superiores al rango comprendido entre 2.5 a 23% aproximadamente para ocho variedades de papas nativas cultivadas en Cusco, Perú (Martínez y otros, 2015). Además fueron superiores a lo que reporta Singh y otros (2008) para almidón de papa de la variedad Tutaekuri (9% después de 24 h).

En el Cuadro 15, se muestra la prueba de Levene modificada para sinéresis (%) en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, almacenado a 4 °C, 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 15. Prueba de Levene modificada para valores de sinéresis (%) a 4° C en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca

Variable	Estadístico de Levene	P
Sinéresis (%) día 1	1.020	0.450
Sinéresis (%) día 3	0.210	0.951

En el Cuadro 16, se muestra el análisis de varianza para sinéresis (%) en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, almacenado a 4 °C durante tres días.

Cuadro 16. Análisis de varianza para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca a temperatura de 4 °C

Variable	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Sinéresis (%) día 1	Suspensión: S	3.406	2	1.703	7.414	0.008
	Temperatura: T	26.051	1	26.051	113.432	0.000
	S*T	1.596	2	0.798	3.474	0.065
	Error	2.756	12	0.230		
	Total	33.808	17			
Sinéresis (%) día 3	Suspensión: S	0.451	2	0.226	0.394	0.683
	Temperatura: T	14.239	1	14.239	24.856	0.000
	S*T	0.984	2	0.492	0.859	0.448
	Error	6.875	12	0.573		
	Total	22.549	17			

Tal como se observa, en el día 1, la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento, presentaron efecto significativo sobre la

sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN). Para el día 3 sólo se determinó efecto significativo de la temperatura de incubación.

En los Cuadros 17 y 18, se muestran la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, para sinéresis (%) en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, para el día 1 y día 3 de almacenamiento a 4 °C, 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 sometidos a la temperatura de incubación de 40 °C (T1, T5 y T3) presentaron menor % de sinéresis que los sometidos a la temperatura de 50 °C (T2, T6 y T4).

Cuadro 17. Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 1)

Tratamiento	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto			
			1	2	3	4
T1	20	40	7.64			
T5	40	40	8.32			
T3	30	40		9.41		
T2	20	50			10.63	
T6	40	50			10.96	
T4	30	50			10.99	
Almidón Nativo						12.35

Cuadro 18. Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a 4 °C (día 3)

Tratamientos	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto		
			1	2	3
T3	30	40	6.92		
T5	40	40	6.98		
T1	20	40	7.10		
T2	20	50	8.26	8.26	
T6	40	50		8.87	
T4	30	50		9.21	
Almidón nativo					16.37

En las Figuras 10 y 11 se muestra los resultados correspondientes a la estabilidad en congelación, evaluado durante tres días como porcentaje de sinéresis, en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca (Anexo 2).

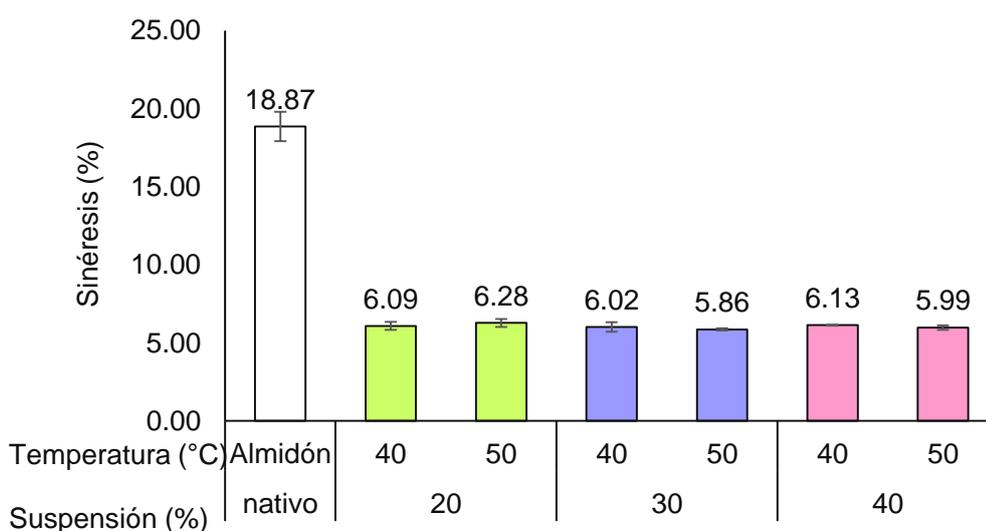


Figura 10. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 1)

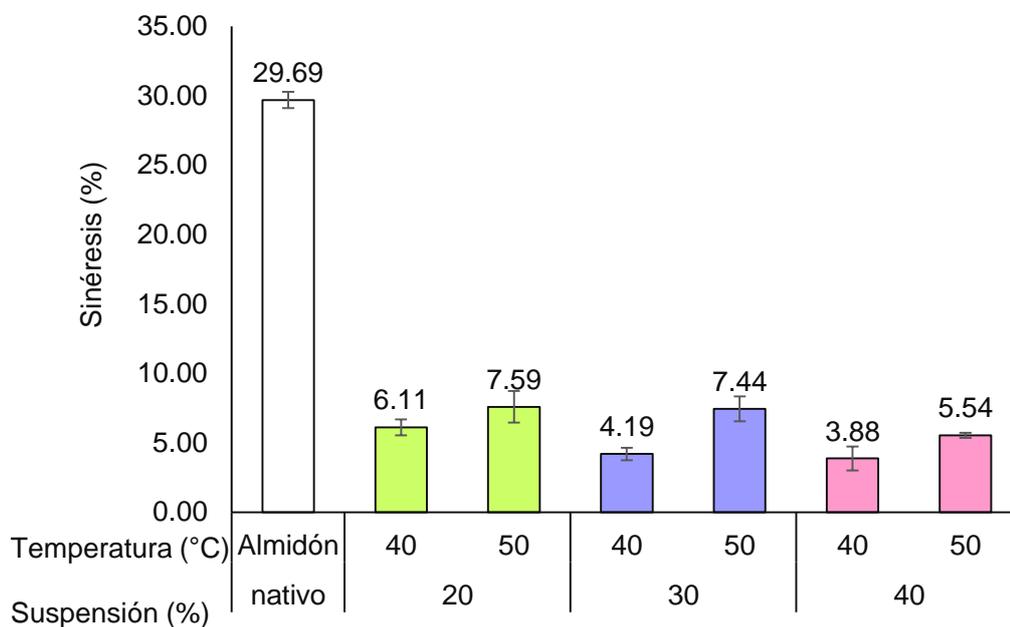


Figura 11. Sinéresis (%) en geles de almidón de yuca nativo y modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 3)

En el Cuadro 19, se muestra la prueba de Levene modificada para sinéresis en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, almacenado a -18 °C durante tres días, 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 19. Prueba de Levene modificada para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca a -18 °C

Variable	Estadístico de Levene	P
Sinéresis (%) día 1	0.580	0.716
Sinéresis (%) día 3	0.630	0.678

En el Cuadro 20 se muestra el análisis de varianza para sinéresis (%) en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, almacenado durante tres días a -18 °C, observándose efecto significativo de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento sólo después de tres días de almacenamiento a -18°C.

Cuadro 20. Análisis de varianza para valores de sinéresis (%) de geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado durante tres días a -18 °C

Variable	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Sinéresis (%) día 1	Suspensión: S	0.176	2	0.088	2.147	0.160
	Temperatura: T	0.007	1	0.007	0.176	0.682
	S*T	0.116	2	0.058	1.411	0.282
	Error	0.492	12	0.041		
	Total	0.791	17			
Sinéresis (%) día 3	Suspensión: S	13.777	2	6.888	12.112	0.001
	Temperatura: T	20.356	1	20.356	35.792	0.000
	S*T	2.845	2	1.422	2.501	0.124
	Error	6.825	12	0.569		
	Total	43.802	17			

En el Cuadro 21 se presenta la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, para sinéresis (%) en geles almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca, almacenado durante tres días a -18 °C, 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 (30%, 40 °C) y T5 (40%, 40 °C) presentaron menor % de sinéresis.

Cuadro 21. Prueba de Duncan para valores de sinéresis (%) en geles de almidón de yuca modificado (ANN) variedad Blanca almacenado a -18 °C (día 3)

Tratamientos	Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Subconjunto			
			1	2	3	4
T5	40	40	3.88			
T3	30	40	4.19			
T6	40	50		5.54		
T1	20	40		6.11		
T4	30	50			7.44	
T2	20	50			7.59	
	Almidón Nativo					29.69

La evaluación de la estabilidad a la refrigeración y congelación consiste en verificar la expulsión del agua (% sinéresis) contenida en los geles como consecuencia de la reorganización de las moléculas del almidón (Betancur-Ancona, 2001).

Los valores encontrados son mayores a los reportados por Hernández y otros (2008), quienes indican un rango de 10 a 22%, 3 a 5%, 0 a 2.5% y 7 a 9.5 % para almidones de makal, camote, yuca y sagú, respectivamente, en un periodo de almacenamiento de 4 días a -10°C.

Jayakody y otros (2005) indican que estas diferencias pueden deberse a que los valores de sinéresis están íntimamente relacionados con el tipo y concentración de almidón, presencia de otros solutos como lípidos, sales, azúcares, contenido de amilosa y longitud de las cadenas de amilopectina y regímenes de calentamiento y enfriamiento,

En adición, se observa mayor estabilidad en congelación, que en refrigeración después de tres días de almacenamiento. La sinéresis pudo

deberse a que las bajas temperaturas incrementan la velocidad de retrogradación que experimentan las moléculas de almidón al verse afectada su estructura, debido a la recristalización de la amilopectina, una vez ocurrida la gelatinización, en la fase de enfriamiento (Amani y otros, 2005).

La pérdida de agua durante el almacenamiento afecta las características de los productos y su vida útil, es por ello que se consideran con mayor estabilidad aquellos almidones que presentan menor pérdida de agua. Es importante el comportamiento de los geles, ya que son muy utilizados en la elaboración de alimentos y más aun de aquellos que son sometidos a congelamiento siendo importante que durante el descongelamiento, el producto mantenga sus características sensoriales como textura y apariencia (Solorza y otros, 2002).

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 hidrotérmica (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, que resultan del tratamiento recocido (ANN) son propiedades deseables para la fabricación de fideos. Horndok 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. 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 sustituto de grasa o para aumentar el contenido de fibra dietética de los alimentos.

V. CONCLUSIONES

La concentración de la suspensión (20, 30 y 40 % p/p) y la temperatura de tratamiento (40 y 50 °C), tuvieron efecto significativo en el tamaño de gránulo y estabilidad en congelación, medido como sinéresis (%), en geles de almidón de yuca modificado (ANN) después de 3 días de almacenamiento a -18 °C, a diferencia de poder de hinchamiento, claridad de las pastas de almidón y estabilidad en refrigeración, medido como sinéresis (%), en geles de almidón de yuca modificado (ANN) después de 3 días de almacenamiento a 4 °C, donde sólo se observó efecto significativo de la temperatura de incubación. Para firmeza del gel de almidón modificado sólo se observó efecto significativo de la concentración de la suspensión (20, 30 y 40% p/p).

El tratamiento T5 de modificación de almidón ANN (concentración de la suspensión: 40%; temperatura de tratamiento: 40 °C) presentó menores valores para tamaño de gránulo (9.64 μm) y poder de hinchamiento (7.33 g/g), mayor claridad (54.03%) y firmeza (0.3 N) de gel y mayor estabilidad en refrigeración (6.98% sinéresis) y congelación (3.88% sinéresis) después de tres días de almacenamiento a 4 y -18 °C; por lo que podría recomendarse su aplicación en la formulación de alimentos envasados, refrigerados, congelados, fideos y productos de panificación.

VI. RECOMENDACIONES

Determinar el contenido de amilosa, amilopectina, proteínas, grasa y cenizas en el almidón nativo de yuca.

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., Olu-Owolabi, B., Olayinka, E., 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.

Alarcón, F. y Dufour, D. 1998. Almidón agrio de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo(CIRAD). Cali, Colombia.

Amani, N., Kamenan, A., Sabate, A. y Colonna, P. 2005. Stability of yam starch gels during processing, *African Journal of Biotechnology* 4:94-101.

Aristizábal, J. y Sánchez, T., 2007. Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca, FAO.Roma.

Badui, S. 2012. Química de los Alimentos. Quinta Edición. Editorial Pearson. México.

Breuninger, W., Piyachomkwan, K. y Sriroth, K., 2009. Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. En: *Starch: Chemistry and technology*. Third Edition ed. s.l.:Academic Press.

Betancur-Ancona, D. 2001. Caracterización Molecular, Nutricional y Funcional de Almidones de *Phaseolus lunatus* y *Mucuna pruriens*. Instituto Politécnico Nacional (Disertación Doctorado en Ciencias de los Alimentos).

Ceballos, H. y de la Cruz, A. 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas

modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. Cali, Colombia.

Ceballos, H. 2002. La yuca en Colombia y en el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. Cali, Colombia.

Cham, S. y Suwannaporn, P. 2010. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. *Journal of Cereal Science*, 51:284–291.

Chung, K. M., Moon, T. W. y Chun, L. K. 2000. Influence of annealing on gel properties of mung bean starch. *Cereal Chemistry*, 77:567–571.

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

Fernández, A., Vélez, C., De Stouvenel, A., Gómez, A., Wheatley, C., Ostertag, C. y Alonso, L. 1992. La producción y uso de la harina de yuca para consumo humano. En: Scott, G., Herrera, H., Espinola, N., Daza, M., Fonseca, C., Fano, H. y Benavides, M. Desarrollo de productos de raíces y tubérculos. CIP. Lima, Perú.

FIDA y FAO. 2000. La economía mundial de la yuca. Hechos, tendencias y perspectivas. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.

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

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

Grace, M. 1977. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma.

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.

Hernandez, M., Torruco, U., Chel, G. y Betancur, A. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(3): 718 -726.

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

Jaramillo, G. 2002. Recursos genéticos de Manihot en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. Cali, Colombia.

Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q. y Weber, E. 2005. Studies on tuber and root starches I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International* 38:615-629.

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.

Hernandez, 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.

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

Lan, H. y otros, 2008. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. *Food Chemistry*, Volumen 111, pp. 663-675.

Lin, J. H., Wang, S. W. y Chang, Y. H. 2008. Effect of molecular size on gelatinization thermal properties before and after annealing of rice starch with different amylose contents. *Food Hydrocolloids*, 22:156–163.

Liu, H., Corke, H. y Ramsden, L. 2000. The effect of autoclaving on the acetylation of ae, wx and normal maize starches. *Starch/Stärke*, 52:353-360.

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

MINAGRI, 2015. Sistema Integrado de Estadística Agraria, Lima, Perú: DGPA - DEEIA - MINAGRI.

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.

Moorthy, S., 2002. Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Starch/Stärke*, 54: 559-592.

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

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.

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.

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

Singh, J., Owen, J., McCarthy, J., Singh, H., Moughan, P. 2008. Low temperature post-harvest storage of New Zealand Taewa (*Maori potato*): Effects on starch physico-chemical and functional characteristics. *Food Chemistry*, 106:583-596.

Singh, H., Yung-Ho Ch., Jheng-Hua, Lin y Singh, N. 2011. Influence of heat–moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. *Food Research International*, 44: 2949-2954.

Solorza, F. J., Jiménez, A., Arenas, M. L., Bello, P. 2002. Rheology of *Okenia hypogea* starch dispersions in aqueous solutions of DMSO. *Starch*, 54:198-202.

Tester, R. y Debon, S. F. 2000. Annealing of starch - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 27:1-12.

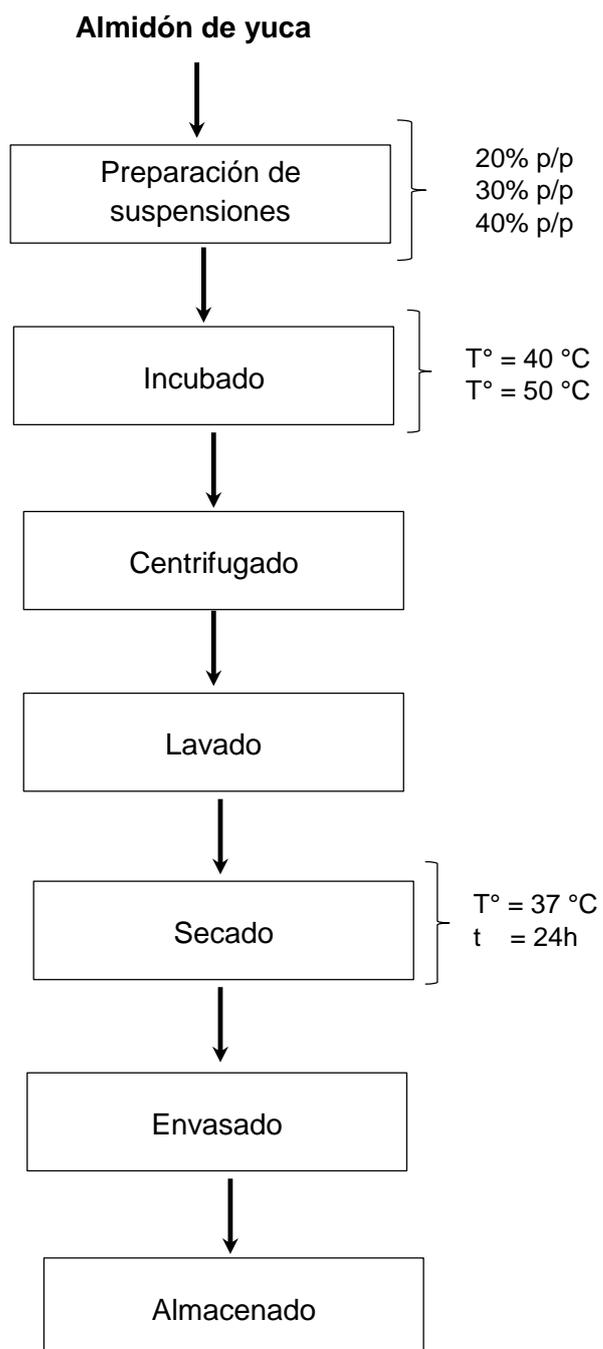
Waduge, R., Hoover, R., Vasanthan, T., Gao, J. y Li, J. 2006. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. *Food Research International*, 39:59-77.

Xie, S., Qiang, Q. y Cui, S. 2005. Starch Modification and Applications. En: S. W. Cui, ed. *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties and Applications*. Boca Ratón, Florida: Taylor y Francis Group.

Zhu, F., 2015. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122: 456-480.

VIII. ANEXOS

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



Anexo 2. Características físicas de almidón de yuca modificado (ANN)

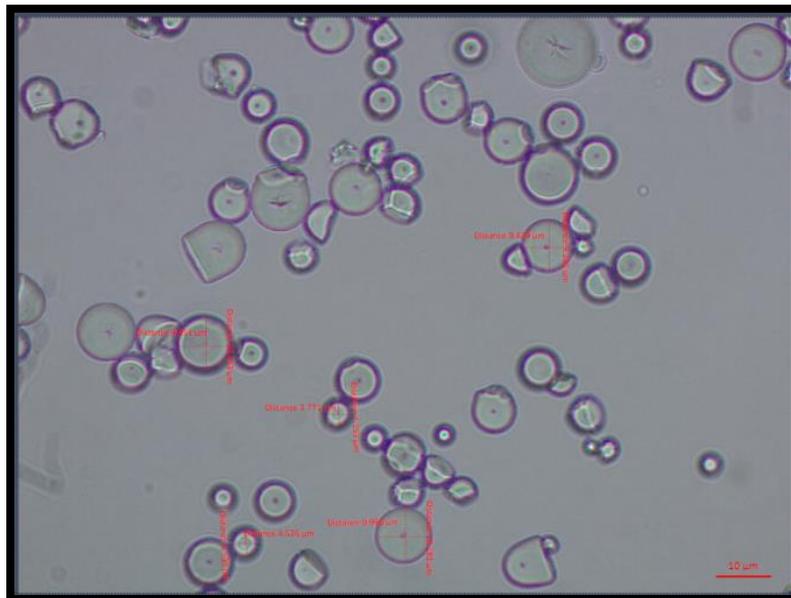
Suspensión (%)	Temperatura (°C)	Solubilidad (80 °C)	PH (80 °C)	Firmeza (N)	Trasmisión	Tamaño de gránulo (um)	Sinéresis				
							4 °C día 1	4 °C día 3	-18 °C día 1	-18 °C día 3	
20	40	0.58	7.54	0.22	57.10	9.43	7.33	7.39	6.23	6.60	
20	40	0.41	6.54	0.19	52.40	10.18	7.81	7.39	5.80	5.48	
20	40	0.18	7.67	0.18	53.70	10.56	7.78	6.54	6.24	6.27	
	Promedio	0.39		7.25	0.20	54.40	10.06	7.64	7.10	6.09	6.11
	Desviación estándar	0.20		0.62	0.02	2.43	0.58	0.27	0.49	0.25	0.57
20	50	0.18	9.61	0.27	40.20	10.19	11.48	9.19	6.57	7.47	
20	50	0.24	7.86	0.21	38.40	12.11	10.80	7.93	6.20	8.78	
20	50	0.23	8.34	0.19	38.60	10.18	9.61	7.67	6.07	6.51	
	Promedio	0.21		8.60	0.22	39.07	10.83	10.63	8.26	6.28	7.59
	Desviación estándar	0.03		0.90	0.04	0.99	1.11	0.94	0.82	0.26	1.14
30	40	0.52	7.13	0.23	52.20	9.24	9.33	5.69	6.27	3.88	
30	40	0.29	7.17	0.18	55.70	10.75	9.53	7.28	5.69	4.00	
30	40	0.12	7.45	0.24	54.80	11.51	9.35	7.80	6.10	4.70	
	Promedio	0.31		7.25	0.22	54.23	10.50	9.41	6.92	6.02	4.19
	Desviación estándar	0.20		0.18	0.03	1.82	1.15	0.11	1.10	0.30	0.44
30	50	0.35	9.34	0.25	38.00	10.56	11.38	9.82	5.78	6.69	
30	50	0.06	9.18	0.26	38.00	12.31	11.10	8.33	5.88	7.18	
30	50	0.35	7.82	0.20	38.80	11.54	10.50	9.48	5.93	8.44	
	Promedio	0.25		8.78	0.24	38.27	11.47	10.99	9.21	5.86	7.44
	Desviación estándar	0.17		0.83	0.03	0.46	0.88	0.45	0.78	0.07	0.90
40	40	0.23	7.38	0.36	53.90	8.85	7.89	6.52	6.14	3.15	
40	40	0.12	7.17	0.24	56.80	10.00	8.52	7.08	6.15	3.65	
40	40	0.18	7.46	0.29	51.40	10.06	8.55	7.35	6.11	4.83	
	Promedio	0.18		7.33	0.30	54.03	9.64	8.32	6.98	6.13	3.88
	Desviación estándar	0.06		0.15	0.06	2.70	0.68	0.37	0.43	0.02	0.86
40	50	0.53	9.47	0.26	38.00	14.23	11.15	9.39	6.15	5.54	
40	50	0.58	7.82	0.33	38.50	13.94	10.68	9.19	5.93	5.36	
40	50	0.29	9.83	0.31	38.00	14.61	11.06	8.04	5.87	5.72	
	Promedio	0.47		9.04	0.30	38.17	14.26	10.96	8.87	5.99	5.54
	Desviación estándar	0.16		1.07	0.03	0.29	0.34	0.25	0.73	0.15	0.18
	Control	6.01		26.31	0.15	57.20	7.89	11.98	17.69	18.14	29.94
	Control	6.40		26.04	0.14	55.40	7.12	13.39	16.95	18.54	30.11
	Control	5.92		26.07	0.14	54.10	5.78	11.67	14.48	19.93	29.01
	Promedio	6.11		26.14	0.15	55.57	6.93	12.35	16.37	18.87	29.69
	Desviación estándar	0.25		0.15	0.01	1.56	1.06	0.91	1.68	0.94	0.59

Anexo 3. Imágenes de los gránulos de almidón nativo y modificado

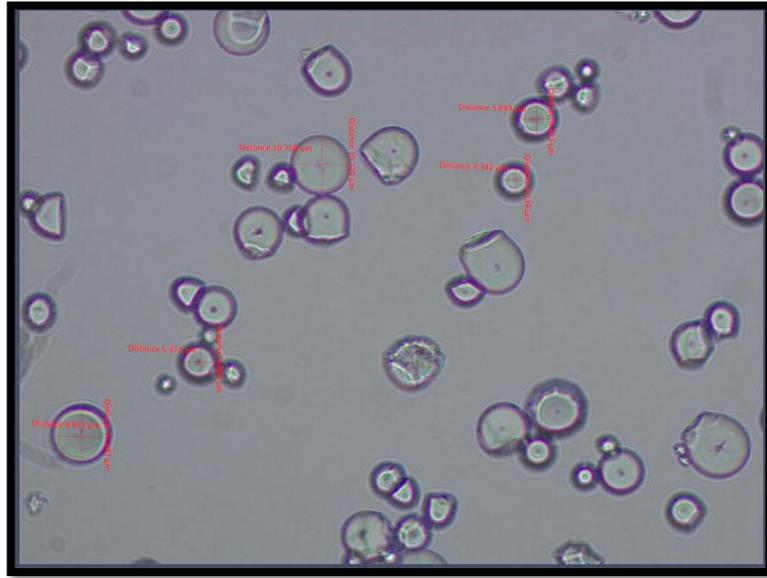
a) ALMIDON NATIVO



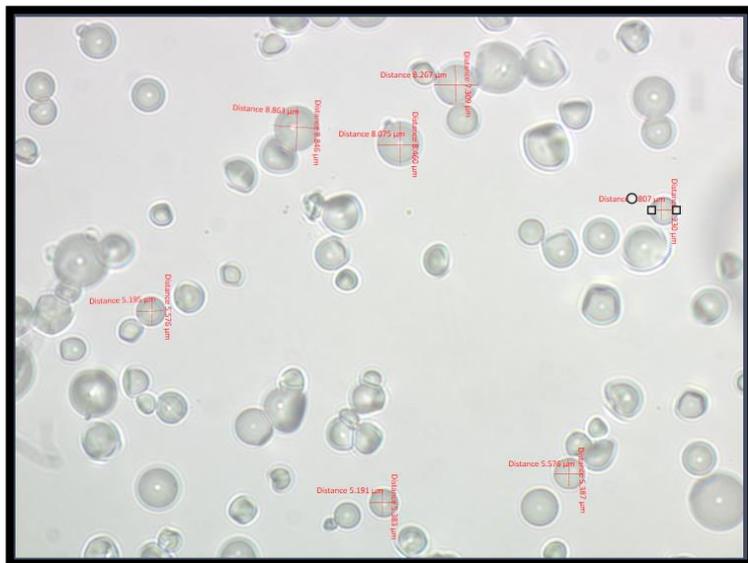
b) ALMIDÓN 20% - 40 ° C



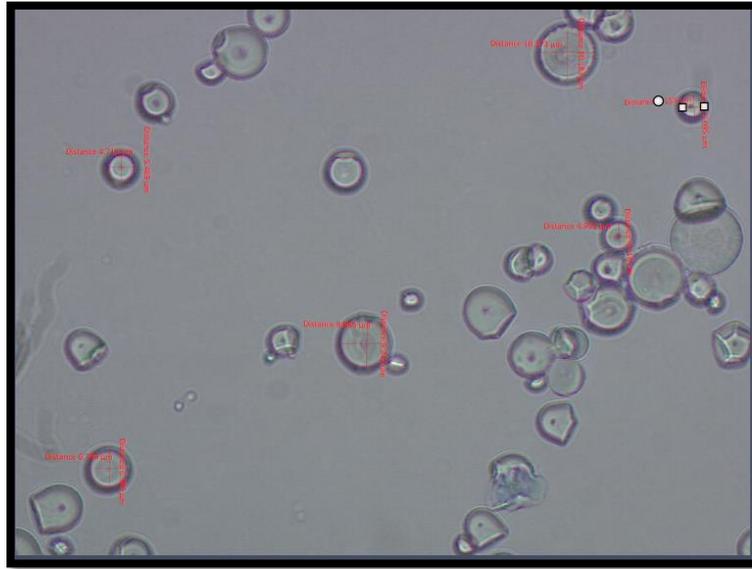
c) ALMIDÓN 30 % - 40 ° C



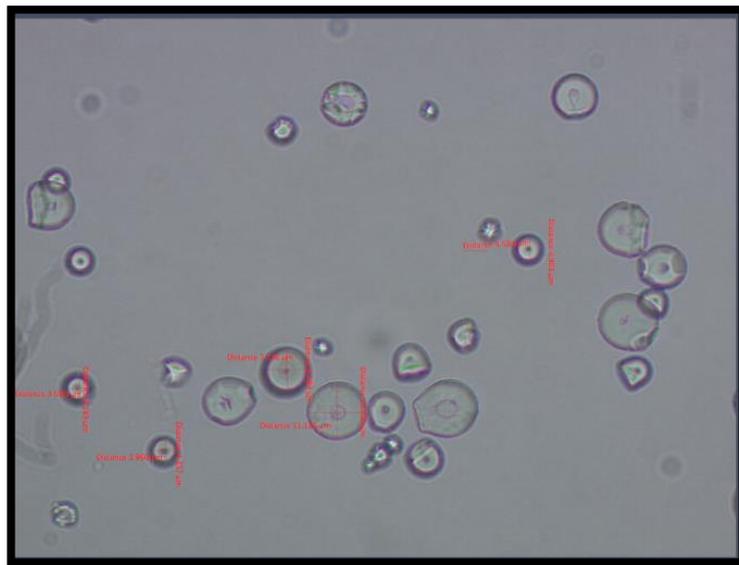
d) ALMIDÓN 40% - 40 ° C



e) ALMIDÓN 20% - 50 ° C



f) ALMIDÓN 30% - 50 ° C



g) ALMIDÓN 40% - 50 ° C