

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**Evaluación de las características fisicoquímicas de almidón modificado a  
partir de almidón nativo de *Arracacia xanthorriza* "Arracacha"  
proveniente de la localidad de Yambrasbamba, región Amazonas.**

**Tesis para optar el título de:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**Presentado por:**

**Br. CHÁVEZ CHÁVEZ WUALQUER AGUSTO**

**Br. MUÑOZ RODRÍGUEZ WILLIAM ROBERT**

**Asesor:**

**Ing. MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ**

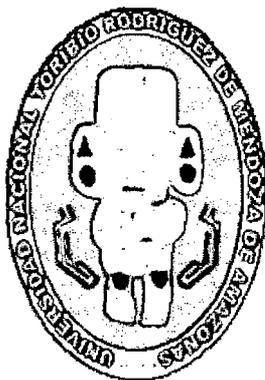
**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2011**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**Evaluación de las características fisicoquímicas de almidón modificado a  
partir de almidón nativo de *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha"  
proveniente de la localidad de Yambrasahamba, región Amazonas.**

Tesis para optar el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

**Br. CHÁVEZ CHÁVEZ WUALQUER AGUSTO**

**Br MUÑOZ RODRÍGUEZ WILLIAM ROBERT**

Asesor:

**Ing. MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2011**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Napoleón Chávez Díaz, Ermila Chávez

Guiop.y a mis hermanos.

“...El presente trabajo va dedicado para ustedes mi querida Familia que siempre la llevo presente, en el trajinar cotidiano de mi copiosa vida y que son sin duda alguna el motor de mi iracundo e infatigable ánimo de progreso porque gracias a su cariño, guía y apoyo estoy llegando a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se depositó y por lo cual les viviré eternamente agradecido...”

**Wualquer A. Chávez Chávez**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Hermenegildo Muñoz Guevara y Florecila Rodríguez Ludeña, quienes siempre han estado ahí con su apoyo incondicional y que han sabido guiarme con sus sabios consejos durante toda mi vida.

A mis hermanas Kelita, Deisy que siempre estuvieron cerca de mí brindándome todo su apoyo, cariño y comprensión en todo momento.

A mis abuelos y Tíos que siempre me han estado apoyando a lo largo del camino, dándome miles de enseñanzas para ser fuerte y perseverante.

A la Sra. Maribel por brindarme confianza y apoyo incondicional.

A Yojani por su cariño porque me motiva su fortaleza para seguir y salir adelante.

**William Robert Muñoz Rodríguez**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios.

Al Ing. Armstrong Fernández Jeri, por guiarnos y asesorarnos durante todo el tiempo de la ejecución de la presente tesis.

A nuestros amigos y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la ejecución de la presente tesis.

A todo el personal docente y técnicos de los diferentes laboratorios de la UNTRM, por su apoyo y paciencia, durante la parte experimental y análisis realizados en la presente investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ Ph.D.,Dr.,Hab.**

**RECTOR**

**MSc. JOSÉ ROBERTO NERVI CHACÓN**

**VICERECTOR ACADÉMICO (e)**

**Blga. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ**

**VICERECTOR ADMINISTRATIVO (e)**

**Ing. WILSON MANUEL CASTRO SILUPÚ**

**DECANO (e) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Y CIENCIAS AGRARIAS**

La presente tesis ha sido asesorado por:



---

**Ing. MSc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ**

**ASESOR**

La presente tesis ha sido aprobada por el siguiente jurado:



---

**Blgo. MsC. JULIO MARIANO CHÁVEZ MILLA**  
**PRESIDENTE**



---

**Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN**  
**SECRETARIO**



---

**Ing. HELI AGUIRRE ZAQUINAZULA**  
**VOCAL**

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
Vo. Bo. DEL ASESOR	vi
Vo. Bo. DEL JURADO	vii
ACTA DE SUSTENTACIÓN	viii
ÍNDICE	x
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xviii

### I. INTRODUCCIÓN

1.1. Almidón	2
1.1.1. Almidón de Arracacha	3
1.1.2. Composición química del almidón	3
1.1.3. Propiedades del almidón	6
1.1.3.1. Propiedades funcionales del almidón	6
1.1.3.2. Cambios en el almidón producidos por tratamientos hidrotérmicos	9
1.1.4. Funcionalidad del almidón	13
1.1.5. Almidón modificado	14
1.1.6. Tipos de Modificación de los almidones	15
1.1.6.1. Modificación química	15

1.1.7. Acetilación	16
1.1.7.1. Acetilación del almidón	18
1.2. Obtención de almidón modificado en especies vegetales	19
1.3. Arracacha ( <i>Arracacia xanthorrhiza</i> )	21
1.3.1. Origen	21
1.3.2. Producción y distribución	22
1.3.3. Descripción taxonómica	22
1.3.4. Composición Química	23
<b>II. MATERIALES Y MÉTODO</b>	
2.1. Lugar de ejecución	25
2.2. Materia prima	25
2.3. Procedimiento experimental	25
2.3.1. Obtención de almidón nativo	25
2.3.2. Modificación del almidón por acetilación	28
2.4. Evaluación de las características fisicoquímicas del almidón modificado	30
2.4.1. Tiempo de gelatinización	30
2.4.2. Temperatura de gelatinización	30
2.4.3. Viscosidad	30
2.4.4. Sinéresis	30
2.4.5. Retrogradación	30

2.4.6. Estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón acetilados	31
2.4.7. Capacidad de Retención de Agua (CRA)	31
2.4.8. Determinación del porcentaje de grupos acetilos	31
2.4.9. Determinación del grado de sustitución en la reacción de acetilación	31
2.5. Análisis estadístico	32
<b>III. RESULTADOS</b>	
3.1. Propiedades físicas	37
3.2. Propiedades químicas	38
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	46
<b>V. CONCLUSIONES</b>	52
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	54
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	55
<b>ANEXOS</b>	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores promedios de la composición química proximal de la arracacha.	23
<b>Tabla 2.</b> Miligramos de aminoácidos esenciales presentes en la <i>Arracacia xanthorriza</i> .	24
<b>Tabla 3.</b> Claves de los diferentes tratamientos.	36
<b>Tabla 4.</b> Valores promedio de parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos del almidón modificado de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	39
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio de tiempo y temperatura de gelatinización de los diferentes tratamientos del almidón modificado obtenido del almidón nativo de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	40
<b>Tabla 6.</b> Valores promedio del porcentaje de acetilos y del grado de sustitución del almidón modificado de <i>Arracacia xanthorriza</i> en todos los tratamientos.	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Amilosa(A): $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces $\alpha$ (1,4); (B) conformación helicoidal de la amilosa.	4
<b>Figura 2.</b> Amilopectina(A): $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces $\alpha$ (1,4) y ramificación en $\alpha$ (1,6); (B) estructura molecular de la amilopectina.	5
<b>Figura 3.</b> Mecanismo de reacción por acetilación del almidón con anhídrido acético.	18
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo de extracción de almidón nativo de arracacha.	27
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo de obtención de almidón modificado de arracacha.	29
<b>Figura 6:</b> Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 10mL de anhídrido acético.	41
<b>Figura 7:</b> Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 10,5mL de anhídrido acético.	41
<b>Figura 8:</b> Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 11mL de anhídrido acético.	42
<b>Figura 9.</b> Sinéresis en función del agua perdida expresada en porcentaje.	42
<b>Figura 10.</b> Retrogradación en función de la formación de cristales y desprendimiento de agua expresada en porcentaje.	43
<b>Figura 11.</b> Estabilidad del almidón modificado al congelamiento – deshielo en función de la viscosidad.	43
<b>Figura 12.</b> Capacidad de Retención de Agua (CRA), en función del agua perdida expresada en porcentaje.	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1: MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS EN ALMIDONES MODIFICADOS DE <i>Arracacia xanthorrhiza</i>.</b>	63
<b>Anexo 1.1:</b> Método empleado en la determinación de humedad.	63
<b>Anexo 1.2:</b> Método seguido para determinar el tiempo de gelatinización.	63
<b>Anexo 1.3:</b> Método utilizado para determinar la temperatura de gelatinización.	63
<b>Anexo 1.4:</b> Método empleado para determinar viscosidad.	64
<b>Anexo 1.5:</b> Método utilizado para determinar Sinéresis.	64
<b>Anexo 1.6:</b> Método utilizado para determinar Retrogradación.	65
<b>Anexo 1.7:</b> Método seguido para determinar la estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón.	65
<b>Anexo 1.8:</b> Método utilizado para determinar Capacidad de retención de agua (CRA) .	66
<b>ANEXO 2</b>	68
<b>Anexo 2.1:</b> Valores del rendimiento de los diferentes tratamientos del almidón <i>modificado expresado en porcentaje.</i>	68
<b>Anexo 2.2:</b> Valores promedios del rendimiento de los diferentes tratamientos del almidón <i>modificado expresado en porcentaje.</i>	68
<b>ANEXO 3</b>	69

<b>Anexo 3.1:</b> Valores del tiempo de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	69
<b>Anexo 3.2:</b> Valores promedio del tiempo de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	69
<b>Anexo 3.3:</b> Valores promedio del tiempo de gelatinización del almidón modificado analizados estadísticamente (SPSS).	70
<b>Anexo 3.4:</b> Representación gráfica de los valores promedio de tiempo de gelatinización del almidón modificado.	70
<b>ANEXO 4</b>	71
<b>Anexo 4.1:</b> Valores de temperatura de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	71
<b>Anexo 4.2:</b> Valores promedio de temperatura de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de <i>Arracacia xanthorriza</i> .	71
<b>Anexo 4.3:</b> Valores promedio de la temperatura de gelatinización del almidón modificado analizados estadísticamente (SPSS).	72
<b>Anexo 4.4:</b> Representación gráfica de los valores promedio de la temperatura de gelatinización del almidón modificado.	72
<b>ANEXO 5</b>	73
<b>Anexo 5.1:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 50°C.	73
<b>Anexo 5.2:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 50°C.	73

<b>Anexo 5.3:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 55°C.	74
<b>Anexo 5.4:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 55°C.	74
<b>Anexo 5.5:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 60°C.	75
<b>Anexo 5.6:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 60°C.	75
<b>Anexo 5.7:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 65°C.	76
<b>Anexo 5.8:</b> Valores promedios de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 65°C.	76
<b>Anexo 5.9:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 70°C.	77
<b>Anexo 5.10:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 70°C.	77
<b>Anexo 5.11:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 75°C.	78
<b>Anexo 5.12:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 75°C.	78
<b>Anexo 5.13:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 80°C.	79

<b>Anexo 5.14:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 80°C.	79
<b>Anexo 5.15:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 85°C.	80
<b>Anexo 5.16:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 85°C.	80
<b>Anexo 5.17:</b> Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 90°C.	81
<b>Anexo 5.18:</b> Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 90°C.	81
<b>Anexo 5.19:</b> Valores de temperaturas de evaluación de la viscosidad e interpretación estadística del almidón modificado	82
<b>ANEXO 6</b>	83
<b>Anexo 6.1:</b> Valores de la sinéresis del almidón modificado en diferentes días de evaluación.	83
<b>ANEXO 7</b>	84
<b>Anexo 7.1:</b> Valores de la estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón modificado, en función de la viscosidad.	84
<b>ANEXO 8</b>	85

<b>Anexo 8.1: Valores de la capacidad de la retención de agua en función del agua liberada.</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 9: PROPIEDADES QUÍMICAS</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 9.1: Método seguido para determinar el porcentaje de grupos acetilos.</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 9.2: Método utilizado para determinar del grado de sustitución en la reacción de acetilación.</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 10: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RENDIMIENTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE ALMIDONES ACETILADOS, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES)</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 11: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TIEMPO DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES).</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 12: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES).</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO 13: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VISCOSIDAD DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES).</b>	<b>94</b>

<b>ANEXO 14: BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN NATIVO.</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 15: BENEFICIO/COSTO</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 16: FOTOS DEL DESARROLLO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.</b>	<b>114</b>

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar las características fisicoquímicas de almidón modificado a partir de almidón nativo de *Arracacia xanthorriza* "Arracacha" proveniente de la localidad de Yambrasbamba - región Amazonas. La metodología experimental consistió en la recolección de las raíces de arracacha, obtención del almidón nativo, y modificación del mismo a diferentes niveles de anhídrido acético (10mL; 10,5mL; 11mL), diferentes tiempos (20min; 30min; 40min) y diferentes temperaturas (20°C; 40°C). El diseño estadístico empleado para el análisis de los resultados fue del tipo factorial 3Ax3Bx2C bajo un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones para evaluar el tiempo, temperatura de gelatinización, viscosidad, sinéresis, retrogradación, estabilidad a la congelación – deshielo y capacidad de retención de agua; para el procesamiento de los datos se utilizaron los paquetes estadísticos SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences) y STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System). Teniendo como resultados: El menor tiempo de gelatinización alcanzado por el almidón modificado fue de 14.64s, 21.11s para el testigo (almidón nativo). La menor temperatura de gelatinización registrada fue a los 57°C para el almidon modificado, 59°C en el testigo. El mayor valor de viscosidad que alcanzó el almidón modificado fue de 6025 cP, y de 2487.5cP para el almidón nativo. El porcentaje de capacidad de retención de agua (CRA) se ve incrementado en un 33% con la modificación del almidón nativo. Los almidones modificados obtenidos fueron de bajo grado de sustitución.

**Palabras clave:** Almidón modificado, acetilación, *Arracacia xanthorriza*

## ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the physiochemical characteristics of starch modified starting from native starch of *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha" coming from the town of Yambrasbamba - region Amazonas. The experimental methodology consisted on the gathering of the arracacha roots, obtaining of the native starch, and modification from the same one to different levels of acetic anhydride (10mL; 10,5mL; 11mL), different times (20min; 30min; 40min) and different temperatures (20°C; 40°C). The design statistical employed for the analysis of the results was totally at random of the type factorial 3Ax3Bx2C first floor a design (DCA), with three repetitions to evaluate the time, gelatinización temperature, viscosity, sinéresis, retrogradación, stability to the freezing - thaw and capacity of retention of water; for the prosecution of the data the statistical packages SPSS 15.0 were used (Statistical Package for Social the Sciences) and STATGRAPHICS 5.0 BONUS (Statistical Graphics System). Having as results: The smallest time of gelatinización reached by the modified starch was of 14.64s, 21.11s for the witness (native starch). The smallest temperature of registered gelatinización went at the 57°C for the modified starch, 59°C in the witness. The biggest value of viscosity that reached the modified starch was of 6025 cP, and of 2487.5cP for the native starch. The percentage of capacity of retention of water (CRA) it is increased in 33% with the modification of the native starch. The obtained modified starches were of low substitution grade.

**Keywords:** Modified starch, acetylation, *Arracacia xanthorrhiza*.

## I. INTRODUCCIÓN

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos, puede ser aislado de diversas fuentes vegetales como son cereales, leguminosas, tubérculos, frutas y raíces. Los almidones nativos regulan y estabilizan la textura, poseen propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón puede ser menos eficiente debido a que las condiciones del proceso (temperatura, pH, presión, etc) reducen su uso en otras aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Betancur-Ancona y col., 1997; Singh y Singh, 2005). Estas limitaciones presentadas por la forma nativa del almidón se pueden superar modificando su estructura por métodos físicos, enzimático y químicos (Fleche, 1985), dando como resultado un almidón modificado. Estos últimos almidones citados generalmente muestran mejor claridad de pasta y estabilidad, menor tendencia a la retrogradación, menor sinéresis y aumenta su estabilidad a la congelación-deshielo.

El almidón acetilado se obtiene por la esterificación del almidón nativo (Jarowenko, 1986) y el número de grupos acetilo incorporados en la molécula depende de la concentración del reactivo, tiempo de reacción y la presencia del catalizador (Betancur-Ancona y col., 1997).

El presente trabajo evaluó las características fisicoquímicas de almidón modificado a partir de almidón nativo de *Arracacia xanthorrhiza* "Arracacha" proveniente de la localidad de Yambrasbamba, región Amazonas.

## 1.1. Almidón

Es un polisacárido que se sintetiza en la mayoría de las plantas con la finalidad de almacenar energía para las funciones metabólicas. Se produce en diferentes tejidos y órganos de las plantas como: hojas, tallos, raíces, flores, frutos y semillas; la síntesis del almidón se lleva a cabo durante el desarrollo y maduración de los tejidos, dentro de los plastidios (Buléon et al., 1998; Thomas y Atwell, 1999).

En la planta, el almidón se encuentra en forma de complejas partículas llamadas gránulos (Bello-Pérez et al., 1998); de manera general éstos presentan un contenido de 0,06-0,45% de proteína, 0,05-0,8% de lípidos y 0,07-1,4% de cenizas y el resto está compuesto por el almidón propiamente dicho. La forma, el tamaño, la estructura y la composición química de los gránulos son las características que más afectan las propiedades funcionales del almidón y la variación de estas características, depende de la especie de la que se ha obtenido Guilbot y Mercier, 1985(citado por Sánchez 2007).

El almidón está constituido principalmente por polímeros de  $\alpha$ -D glucosa, azúcar de seis carbonos, que en forma anillada se le conoce como D-glucopiranososa, ésta se une mediante enlaces glucosídicos, principalmente en presencia de agua. Al condensarse una molécula de agua se forma un enlace de puente de hidrógeno, esta condensación sucede principalmente entre los carbonos 1 y 4 o puede ocurrir en los carbonos 1 y 6, estos enlaces tienen configuración  $\alpha$ , lo cual propicia la formación de estructuras helicoidales (Buléon et al., 1998; Thomas y Atwell, 1999).

En el almidón pueden distinguirse dos biopolímeros, la amilosa que es esencialmente lineal y la amilopectina que está altamente ramificada. Estos polímeros a pesar de ser similares molecularmente, difieren ampliamente en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Thomas y Atwell, 1999). En general, los gránulos de almidón contienen del 75-82% de amilopectina y 18-25% de amilosa, dependiendo de la fuente de la cual se extrae (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999; Tester et al., 2004).

### **1.1.1. Almidón de arracacha**

La mayoría de estudios realizados en cuanto a la caracterización física y molecular del almidón, se han enfocado en almidones de fuentes convencionales como el maíz, el trigo, la papa y la avena (Fannon y col., 1992); sin embargo, pocos estudios se han realizado en la caracterización de almidones de fuentes no convencionales, en sus posibles aplicaciones prácticas, como el almidón de arracacha, raíz ampliamente disponible en varias regiones de Perú y motivo del presente estudio.

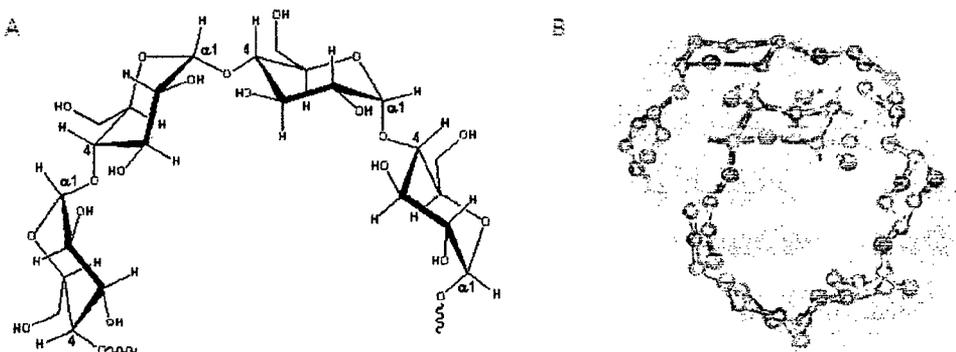
### **1.1.2. Composición química del almidón**

Químicamente, el almidón está constituido por dos tipos de polisacáridos similares que varían en su conformación estructural, la amilosa, la cual presenta una estructura lineal debido a los enlaces  $\alpha$ -1.4 y la amilopectina, la cual, además de presentar los enlaces  $\alpha$ -1.4, presentan una estructura ramificada provista por la presencia de enlaces  $\alpha$ -1.6 (Hosney, 1980).

## a) Amilosa

La amilosa está compuesta por D-glucopiranosas unidas mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,4) (Figura 1A), haciendo largas cadenas lineales ligeramente ramificadas mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,6) (Curá et al., 1995); tiene un Grado de Polimerización (GP) de 324-4920 unidades y peso molecular de aproximadamente  $1 \times 10^5$ - $1 \times 10^6$  Da (Tester et al., 2004).

La conformación de la amilosa es helicoidal tridimensional (Figura 1B) en cada vuelta de la hélice hay seis unidades de anhidro glucosa (UAG). El interior de la hélice es lipofílico, mientras que el exterior es hidrofílico, permitiendo la formación de complejos con otros compuestos (Curá et al., 1995). Este polímero, también tiene la capacidad de formar geles; un gel se forma al calentar el almidón en agua. El almidón se solubiliza y la amilosa se reasocia formando una red tridimensional (Hosney, 1980; Thomas y Atwell, 1999).

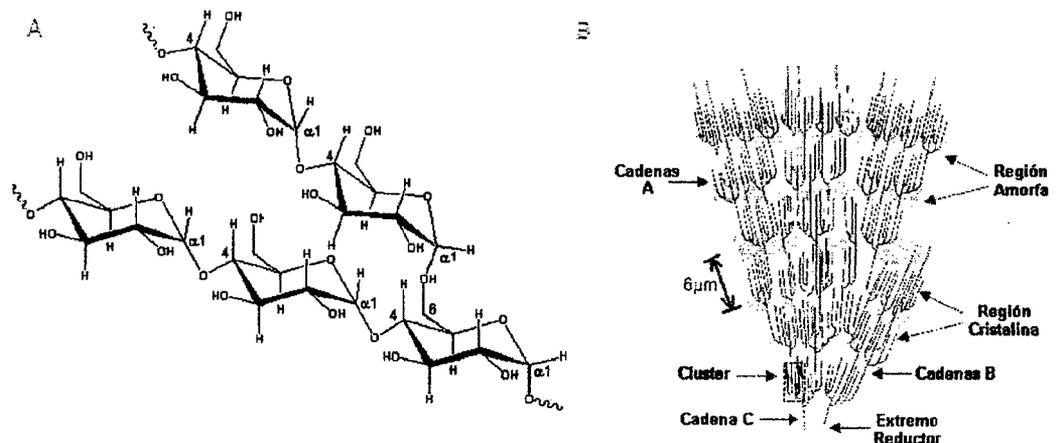


**Figura 1:** Amilosa(A):  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces  $\alpha$  (1,4); (B) conformación helicoidal de la amilosa propuesta por Myers et al. (2000).

## b) Amilopectina

La amilopectina es el componente de mayor proporción en el almidón (Figura 2A), tiene un peso molecular de  $10^7$ - $10^9$  Da; su estructura molecular es similar a un árbol, está formada por D-glucopiranosas unidas en  $\alpha$  (1,4) y las ramificaciones en  $\alpha$  (1,6) (Buléon et al., 1998; Thomas y Atwell, 1999; Tester et al., 2004).

La organización básica de la amilopectina puede explicarse en tres tipos de cadenas (Figura 2B): cadenas cortas (A), con GP de 14–18, enlazadas a través de un extremo reductor; cadenas largas (B) con GP de 45–55, se enlaza con una o varias cadenas A o B en grupos hidroxilos primarios; y un extremo reductor (C). Las cadenas A y B forman racimos asociados, responsables de las regiones cristalinas (clúster) y las áreas amorfas contienen enlaces  $\alpha$  (1,6) presentándose en intervalos de 0.6–0.7 nm (Robín et al., 1974; Myers et al., 2000).



**Figura 2:** Amilopectina(A):  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces  $\alpha$  (1,4) y ramificación en  $\alpha$  (1,6); (B) estructura molecular de la amilopectina propuesta por Myers et al. (2000).

### **1.1.3. Propiedades del almidón**

El almidón es un componente vegetal que además de poseer un bajo costo (debido a su abundancia en la naturaleza y a que se puede obtener de diversas fuentes vegetales), presenta propiedades fisicoquímicas muy interesantes, que lo hacen útil en la modificación de la textura y consistencia de los alimentos, como sustituto de grasa, como agente encapsulante, aglutinante, espesante y sobre todo, presenta la capacidad de formación geles que encuentran interesantes aplicaciones no solo en la industria alimentaria, sino también en la farmacéutica, cosmética e industrial (Bello-Pérez et al., 2006).

#### **1.1.3.1. Propiedades funcionales del almidón**

En su conjunto, la amilosa y la amilopectina, le confieren propiedades específicas al gránulo de almidón, que generalmente se consideran para determinar la aplicación de los productos elaborados a partir de este. Algunas propiedades funcionales del almidón son las siguientes:

##### **a) Cristalinidad**

El almidón es un material semi-cristalino, con una cristalinidad que se encuentra entre el 25 - 31% dependiendo de la especie vegetal, la amilopectina es el principal componente responsable de la cristalinidad del gránulo de almidón, que es producida por la longitud y el

ordenamiento de sus cadenas ramificadas, sin embargo, también depende del porcentaje de amilosa Rindlav-Westling et al., 2002; Ratnayake y Jackson, 2006 (citado por Sánchez 2007).

#### **b) Birrefringencia**

Cuando los gránulos de almidón son analizados bajo un microscopio con luz polarizada, se puede observar una sombra en forma de cruz, denominada “cruz de malta”. A este fenómeno se le denomina birrefringencia y es un indicador del grado de orden de los gránulos de almidón (Thomas y Atwell, 1999). Midiendo la disminución de birrefringencia de los gránulos es posible establecer, de manera indirecta, el intervalo de temperatura de gelatinización del almidón Ratnayake y Jackson, 2006; Bushuk, 2000 (citado por Sanchez 2007).

#### **c) Solubilidad en agua fría**

El almidón es un biopolímero poco soluble debido a que la amilosa y la amilopectina se unen mediante puentes de hidrógeno, formando una estructura compleja, altamente organizada, que presenta una gran estabilidad a las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, su solubilidad depende de la cantidad disponible de éstos polímeros en el medio

(Singh y Singh, 2003, Kaur et al., 2007), estudiaron el efecto que tiene la agitación mecánica en las características fisicoquímicas y estructurales del almidón, encontrando que a mayor tiempo de agitación mecánica, el almidón es más soluble en agua fría, debido a la disminución de las zonas cristalinas, permitiendo que mayor cantidad de agua interaccione con el granulo.

#### **d) Absorción de agua**

La cantidad de agua fría absorbida por el almidón, dependerá del contenido de humedad del medio que lo rodea; el almidón absorbe agua hasta alcanzar el equilibrio con el medio circundante (proceso reversible); la absorción de agua fría provoca que el gránulo presente un hinchamiento, incrementando el tamaño de su diámetro hasta un 10% (Singh y Singh, 2003). En agua caliente, la absorción de agua está determinada por las fuerzas de unión en la estructura del gránulo de almidón, es decir dependen del grado de asociación molecular entre la amilosa y la amilopectina Mua y Jackson, 1997(citado por Sanchez 2007), y de la temperatura a la que esté expuesto el gránulo de almidón.

### **e) Poder de hinchamiento**

El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón está relacionado directamente con el tamaño y el contenido de amilosa y amilopectina. Cuando los gránulos de almidón se sumergen en agua, las moléculas de agua se difunden, al interior del gránulo por lo que se hincha y cuando se calienta, se incrementa el volumen llegando el almidón a perder su cristalinidad y la amilosa puede ser lixiviada notablemente formando así un gel Russo et al., 2007; Mira et al., 2007(citado por Sanchez 2007). Cuanto más alto es el contenido de amilosa, más bajo es el poder de hinchamiento y menor es la fuerza del gel para la misma concentración de almidón Ao y Jane, 2007 (citado por Rivas 2006).

### **1.1.3.2. Cambios en el almidón producidos por tratamientos hidrotérmicos**

Cuando el almidón se encuentra en un medio acuoso y es calentado, se producen distintos cambios en su estructura, conforme se incrementa la temperatura.

#### **a) Gelatinización**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría sin embargo, cuando la suspensión se calienta empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas

(amilosa), que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógenos no son tan numerosos, ni rígidos como en las áreas cristalinas (amilopectina) Whistler y BeMiller 1999; Pate y Seetharaman, 2006 (citado por Sanchez 2007). A medida que se incrementa la temperatura, se retiene mayor cantidad de agua y el gránulo empieza a hincharse, aumentando su volumen, una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, los gránulos pierden su estructura cristalina, hasta que se destruyen irreversiblemente, La temperatura de gelatinización depende de varios aspectos como es el porcentaje de amilosa, la forma del gránulo y el tamaño, por lo que cada almidón tiene un intervalo de gelatinización diferente (Myllarinen y col, 2002).

#### **b) Plastificación**

Es el proceso de hidratación exhaustiva de los gránulos de almidón, que se presenta pasando más allá de la gelatinización y que conduce a la disociación de las hélices de la amilosa. Esto involucra un incremento del volumen del gránulo, con la exudación de sus componentes moleculares y eventualmente se da su rompimiento Atwell et al., 1988; Choi y Kerr, 2004 (citado por Sanchez 2007). Al llegar a cierta

temperatura, el gránulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X, como la propiedad de birrefringencia; si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener mayor cantidad del líquido se rompe parcialmente; en ese instante, la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la solución Whistler y BeMiller, 1999; Mira et al., 2007 (citado por Sanchez 2007).

### **c) Retrogradación**

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa. La retrogradación es la realineación de las moléculas, principalmente de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan entre sí, por múltiples interacciones de sus grupos hidroxilos, mediante puentes de hidrógeno Morris, 1990; Biliaderis, 1991; Mira et al., 2007 (citado por Sánchez 2007). En términos generales la retrogradación depende de la concentración y de la temperatura del sistema, la firmeza del gel aumenta y se favorece a bajas temperaturas, debido a la asociación de cadenas de amilopectina en el almidón (Singh et al., 2007).

#### **d) Sinéresis**

Cuando el almidón ha pasado por los cambios antes descritos se puede presentar, a bajas temperaturas, un fenómeno que se conoce como sinéresis, donde el gel pierde agua mediante la formación de capas superficiales sobre el gel, debido a que las moléculas de amilosa y amilopectina se asocian entre ellas, desplazando al agua contenida en el gel Whistler y BeMiller, 1999 (citado por Sanchez 2007); este fenómeno se acentúa con el tiempo. La sinéresis se favorece con tratamientos extremos como el congelamiento del gel Lee et al., 2002; Kweon et al., 1997b (citado por Sanchez 2007).

#### **e) Estabilidad a la congelación – descongelamiento de los geles de almidón**

Bello y col (2002) estudiaron que la estabilidad al congelamiento – deshielo de los almidones es afectada por los ciclos de congelación – descongelación, este fenómeno se puede evitar con la modificación química de los almidones nativos, debido que se genera una despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina produciendo moléculas más lineales, presentándose un fenómeno de agregación gradual de

las cadenas lineales formando una malla que disminuye la cantidad de agua separada.

**f) Capacidad de retención de agua (CRA)**

En general los valores de capacidad de retención de agua en los almidones aumentan con el incremento de temperatura. Este comportamiento puede ser atribuido a la diferencia en la relación amilosa/amilpectina, así como también a la diferencia en la distribución en la longitud de la cadena como fue reportado en otros almidones Bello-Pérez et al (1998b).

**1.1.4. Funcionalidad del almidón**

De manera general, los almidones nativos poseen propiedades limitadas debido a que estos son susceptibles a altas temperaturas, a pH ácido o extremos, presentan bajas resistencias a altos esfuerzos cortantes. Por todo lo anterior, es necesario recurrir a ciertas modificaciones físicas y/o químicas, para superar estos inconvenientes. En este sentido, se encuentra una amplia gama de aplicaciones industriales para los almidones modificados. Estas aplicaciones van desde la utilización de almidones modificados para aplicaciones no alimentarias como la industria del papel, la industria textil, farmacéutica, sobre todo para la industria alimentaria principalmente en las líneas de embutidos, lácteos y congelados Tharanathan 2005(citado por Zamudio 2008).

### 1.1.5. Almidón modificado

Los almidones en estado nativo tienen propiedades físicas, químicas y funcionales que son aprovechadas por la industria para necesidades específicas. Sin embargo, estos almidones carecen de versatilidad para tolerar las condiciones de procesamiento, el manejo durante la distribución y almacenamiento Slattery et al., 2000 (citado por Rivas 2006). Estas demandas pueden satisfacerse cuando los almidones nativos son modificados; siendo estos últimos de gran importancia no sólo en la industria de alimentos, sino en otras como: la de papel, textil y farmacéutica, entre otros (Bello-Pérez et al., 2002a).

Los almidones se pueden modificar por las siguientes razones: los almidones nativos son abundantes y de fácil disponibilidad, los almidones modificados proveen atributos funcionales a los productos donde son usados que no le son conferidos por los almidones nativos y por que como materia prima son más económicos que las gomas (Light, 1990).

Se denomina almidón modificado al almidón que ha sufrido una alteración en sus características físicas o químicas con la finalidad de mejorar sus propiedades funcionales (Singh et al., 2005). El término “derivado de almidón” incluye a aquellas modificaciones que cambian la estructura química de algunas de las unidades  $\alpha$ -D-glucopiranosil (unidad de anhidro glucosa, UAG) en las moléculas del almidón nativo (Rutenberg y Solarek, 1984).

La modificación de los almidones nativos es un factor importante para proporcionar propiedades de mayor capacidad de retención de agua (CRA) en los embutidos.

#### **1.1.6. Tipos de modificación de los almidones**

Los almidones pueden ser modificados por diferentes vías, ya sea enzimáticas, físicas o químicas (Thomas y Atwell, 1999).

##### **1.1.6.1. Modificación química**

El tipo más común de modificación de almidón es el tratamiento con pequeñas cantidades de reactivos químicos, debido a su alta eficiencia y a que brinda la posibilidad de controlar variables que influyen en las propiedades del almidón (Thomas y Atwell, 1999).

Las modificaciones químicas se dividen en métodos de derivación (entrecruzamiento, estabilización y la adición de grupos funcionales) y métodos de conversión (hidrólisis, oxidación, dextrinización y conversión); pueden ser monofuncionales, polifuncionales, de doble derivación, oxidativas o hidrolíticas (Singh et al., 2007).

La modificación generalmente se realiza en un medio acuoso. Una suspensión de almidón usualmente de 20-40% de sólidos se trata con el reactivo químico bajo condiciones apropiadas

de agitación, temperatura y pH. Cuando la reacción se completa, el almidón se lleva al pH deseado con un agente neutralizante, se purifica por subsecuentes lavados con agua y se seca hasta obtener el almidón en polvo (Rutenberg y Solarek, 1984).

Las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón modificado son influenciadas por los grupos introducidos, así como por el Grado de Sustitución (GS), el cual se define como una medida del número de grupos hidroxilos (OH) de cada unidad de anhidro glucosa (UAG) que son sustituidos por grupos químicos. Las UAG's del almidón tienen tres grupos OH disponibles para ser sustituidos en las posiciones C2, C3 y C6; por lo que el GS máximo posible es de tres (Rutenberg y Solarek, 1984).

#### **1.1.7. Acetilación**

La acetilación es una modificación química del almidón por esterificación, en el cual se sustituyen sus grupos hidroxilos por grupos acetilos ( $\text{CH}_3\text{-C=O}$ ) que le brindan mayor estabilidad, variando sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, aun teniendo un bajo GS (Rutenberg y Solarek, 1984; Thomas y Atwell, 1999); la introducción de grupos acetilos, provee al almidón estabilidad y resistencia a la retrogradación, aumenta su hidrofobicidad dependiendo de la longitud de cadena y del GS del almidón, lo cual

provoca que sea soluble en otros polímeros hidrofóbicos (acetona, cloroformo, etc.) Saartrat et al., 2005 (citado por Guerra 2007).

Los almidones acetilados tienen diferentes características a los nativos, presentan aproximadamente 6°C menos en la temperatura de gelatinización (T<sub>g</sub>) y el pico de viscosidad máxima es mayor con respecto al nativo, lo cual indica que los almidones acetilados se dispersan más fácilmente que los nativos. La acetilación también incrementa la claridad y estabilidad de los geles que se forman con este almidón y reduce la retrogradación (Rutenberg y Solarek, 1984).

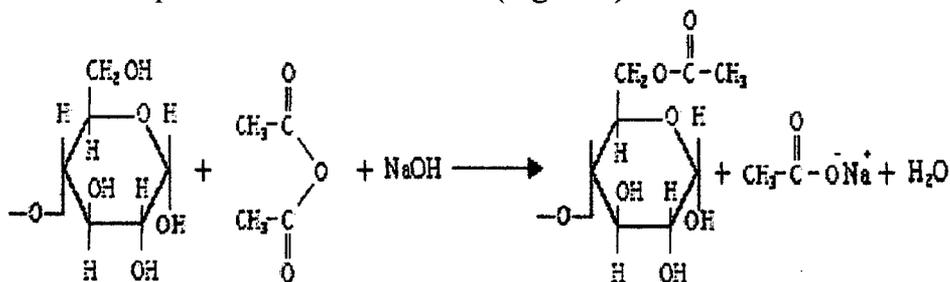
En la industria, este tipo de almidón es útil principalmente en los productos para refrigerar y congelar, ya que la acetilación disminuye la sinéresis, también son usados como espesantes debido a que al aumentar la viscosidad del almidón, imparten textura, estabilidad y claridad. Es utilizado a su vez en la fabricación de tela y papel; se puede combinar con resinas para dar dureza a los materiales. También se ha reportado su uso para la fabricación de películas biodegradables, materiales termoplásticos y como sustituto de celulosa acetilada (Rutenberg y Solarek, 1984; Xu et al., 2004).

Los almidones acetilados con bajo GS son comúnmente utilizados en la industria de alimentos ya que les imparte consistencia, textura y estabilidad; y los almidones con alto GS han sido utilizados como termoplásticos, sustitutos de acetato de celulosa (Graaf et al., 1995; Xu et al., 2004).

### 1.1.7.1. Acetilación del almidón

La acetilación del almidón es una modificación química conocida desde hace más de un siglo. Durante la modificación del almidón, parte de los grupos hidroxilos de los monómeros de glucosa, son convertidos en grupos O' (etanotanos). Los almidones acetilados con un alto grado de sustitución (GS), de 2 a 3, fueron objeto de investigaciones de 1950 a 1980, por su solubilidad en acetona y cloroformo, y su termoplaticidad. Debido a que no podían competir con los derivados de celulosa en costos y elasticidad, no se desarrollaron comercialmente. Los almidones con bajo grado de acetilación, con GS de 0.01 a 0.2, mantuvieron un interés comercial, toda vez que se usaron en la formación de películas y en conferir adhesividad, estabilidad y textura a ciertos alimentos (Graaf y col, 1998).

Según Rutenberg y Solarenk (1984), la reacción es realizada a pH controlado de 7.5 a 9.0 y a temperatura ambiente, con lenta adición de anhídrido acético. La eficiencia de la reacción puede ser cercana al 75% (Figura 3).



**Figura 3:** Mecanismo de reacción por acetilación del almidón con anhídrido acético (Rutenberg y Solarek, 1984).

## 1.2. Obtención de almidón modificado en especies vegetales

López y Bermúdez. (2001), realizaron evaluaciones sobre el efecto de la acetilación sobre las propiedades funcionales y nutricionales de almidón de *Vicia faba* “haba”; las evaluaciones se realizaron a una temperatura de 30°C, un tiempo de 30 minutos, un pH 8,0 acondicionado con NaOH al 3 %, anhídrido acético (0,1 moles por 100 g de muestra), HCl 0,5N para acondicionar un nuevo pH de 4,5; se efectuaron tres lavados con agua, se secó en estufa con aire forzado a 40 °C durante 24 hrs.

Bello y col. (2002), evaluaron las propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de *Musa paradisiaca* “plátano”; trabajaron con una dilución almidón-agua (p/v) 1/2, a una temperatura de 25°C, un pH 8,0 acondicionado con NaOH al 3%, manteniendo la suspensión en agitación, simultáneamente adicionaron el anhídrido acético para mantener un pH entre 8,0 y 8,4; después el pH se ajustó a 4,0 – 4,5 con HCl, la suspensión se filtró y se secó con aire caliente para obtener un almidón con mejores propiedades.

Rincón y col. (2007), realizaron efecto de la acetilación y oxidación en frutos de pan; trabajaron con una dilución almidón – agua 1/5, una temperatura de 20°C, un tiempo de 30 minutos, un pH 8,0, se añadió anhídrido acético manteniendo el pH entre 8,0 - 8,5; luego se ajustó el pH a 4,5 con HCl 0,5M, realizaron un filtrado y el residuo se lavó 4 veces con agua destilada, se secó a  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  por 48h y el almidón obtenido se molió y tamizó.

Guerra *et al.* (2008), realizaron Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano; trabajaron con una dilución almidón – anhídrido acético 1/5, una temperatura de 120°C, diferentes tiempos (0.5, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 hrs), una agitación de 200 rpm, adición de NaOH al 50% para mantener un pH de 8.0, Se precipitó el almidón con 100 mL de alcohol etílico al 96% para detener la reacción, posteriormente se lavó con agua hasta eliminar la mayor parte de anhídrido acético. La pasta de almidón que se obtuvo se secó en estufa a una temperatura de 50°C por 24 horas.

Rivas y col. (2009), evaluaron efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano; trabajaron con una dilución almidón – anhídrido acético 1/8, una temperatura de 120°C, un tiempo de 30 minutos y 5 horas, adicionaron 7.5g de NaOH por gramo de almidón, se precipitó la solución con alcohol de 96%, se centrifugó y se lavó con alcohol y agua, se secó a 50°C por 24 horas.

Trejo y col. (2010), realizaron caracterización de la microestructura del almidón acetilado de cebada, trabajaron a una temperatura de 25°C, por un tiempo de 10 minutos, la solución almidón-agua se ajustó el pH a 8,0 – 8,3 con hidróxido de sodio al 3%, simultáneamente agregaron 11.6mL de anhídrido acético gota a gota, utilizaron HCl 0,5M, para ajustar el pH a 4,5, se lavó la solución 2 veces con agua destilada y una vez con alcohol al 96%. Se secó en una estufa por 24 h a 40 °C.

### **1.3. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)**

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) es una hortaliza que se produce en la región amazónica y otras regiones del país, siendo importante en la alimentación por la fácil digestión de sus almidones y por ser rica en calcio, fósforo, hierro, niacina, vitamina A, piridoxina-B6, riboflavina-B2, ácido ascórbico, proteínas, fibras y carbohidratos; características que le otorgan un potencial alimentario y económico. Desde el punto de vista económico, esta raíz presenta una buena aceptación en el mercado y de acuerdo con el lugar puede producirse durante todo el año (Dirección General de Información Agraria – Amazonas, 2009).

#### **1.3.1. Origen**

Se trata probablemente de una de las plantas cultivadas andinas más antiguas en la etapa preinca, cuya domesticación precedió a la papa y el maíz. No existen vestigios que permitan identificar el área de origen, que pudo ser la zona septentrional de América del Sur, debido a la presencia de especies silvestres afines; sin embargo, existen estudios que reportan a las Regiones de Cajamarca, La Libertad y Cuzco como los centros de mayor diversificación de arracacha, en altitudes de 1,500 a 3,000 msnm, con temperaturas que oscilan entre 15 y 20°C. En nuestra región, esta especie se comporta como una planta perenne y herbácea que produce grandes raíces comestibles de color amarillo principalmente. Además de esta especie, se encuentran clones silvestres con raíces tuberosas de color blanco y morado. Los países más importantes en producción son Colombia y Brasil, donde

su siembra es extensiva Jaramillo, 1952 (citado por Gobierno Regional La Libertad, 2006).

### 1.3.2. Producción y distribución

En nuestro país la arracacha se encuentra en las regiones de Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huánuco, La Libertad, Lima, Piura, Puno y San Martín.

En la región Amazonas actualmente se produce 693,80 has/año, con un rendimiento de 9378,79 kg/ha. y una producción total de 6507.00Tm., teniendo a las provincias de mayor producción Chachapoyas, Luya y Bongará (Dirección General de Información Agraria – Amazonas, 2010).

### 1.3.3. Descripción taxonómica

Según Jaramillo 1952 (citado por Gobierno Regional La Libertad, 2006) tiene la siguiente clasificación botánica:

- Nombre común.....Arracacha, racacha, virraca, zanahoria blanca.
- División.....Spermatophyta.
- Subdivisión.....Magnoliophyta (Angiospermae)
- Clase.....Magnoliatae (Dicotiledónea).
- Subclase.....Rosidae.
- Orden.....Umbellales (Ariales).
- Familia.....Umbelliferae (Apiaceae).
- Género.....*Arracacia*.
- Especie..... *Arracacia xanthorrhiza*.

### 1.3.4. Composición química

Esta planta debe ser considerada como un alimento esencialmente energético pues en su composición centesimal (Tabla 1), se destacan los carbohidratos en relación a los demás nutrientes (almidón + azúcares totales) y considerables niveles de minerales como calcio, fósforo, hierro, además de constituir buena fuente de vitamina A y niacina. Las proteínas de arracacha (Tabla 2), como todas aquellas de raíces y tubérculos, son incompletas porque presentan de modo general, deficiencia en la mayoría de sus aminoácidos esenciales.

**Tabla 1:** Valores promedio de la composición química proximal de la arracacha

Componentes	g/100g de materia fresca
	Promedio
Humedad	74,00
Sólidos totales	26,00
Carbohidratos	24,91
Proteínas	0,96
Lípidos	0,26
Cenizas	1,30
Fibras	0,85
almidón	23,51
Azúcares totales	1,66
calorías	104

FUENTE: Santos y Pereira 1994; Tapia 1990 y Franco 1982. Citado por gobierno regional la Libertad, 2006; en la investigación: biodiversidad y conservación de los recursos fitogenéticos andinos.

**Tabla 2:** Miligramos de aminoácidos esenciales presentes en la *Arracacia xanthorrhiza*.

<b>Aminoácidos</b>	<b>mg de aminoácidos/g de nitrógeno Arracacha</b>
Isoleucina	83
Leucina	237
Lysina	203
Metionina + Lysina	197
Fenilalanina	386
Tirosina	186
Treonina	144
Triptófano	191
Valina	33.2

FUENTE: Amino 1970. Citado por gobierno regional la Libertad, 2006; en la investigación: biodiversidad y conservación de los recursos fitogenéticos andinos.

## II. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Chachapoyas: específicamente en los Laboratorios de Tecnología Agroindustrial y Biología de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

### 2.2. Materia prima

Como materia prima de investigación se utilizó *Arracacia xanthorrhiza* “arracacha”, la cual fue obtenida de la localidad de Yambrasbamba región Amazonas; para la selección se tomó en cuenta la edad fisiológica de la planta (10 meses).

### 2.3. Procedimiento experimental

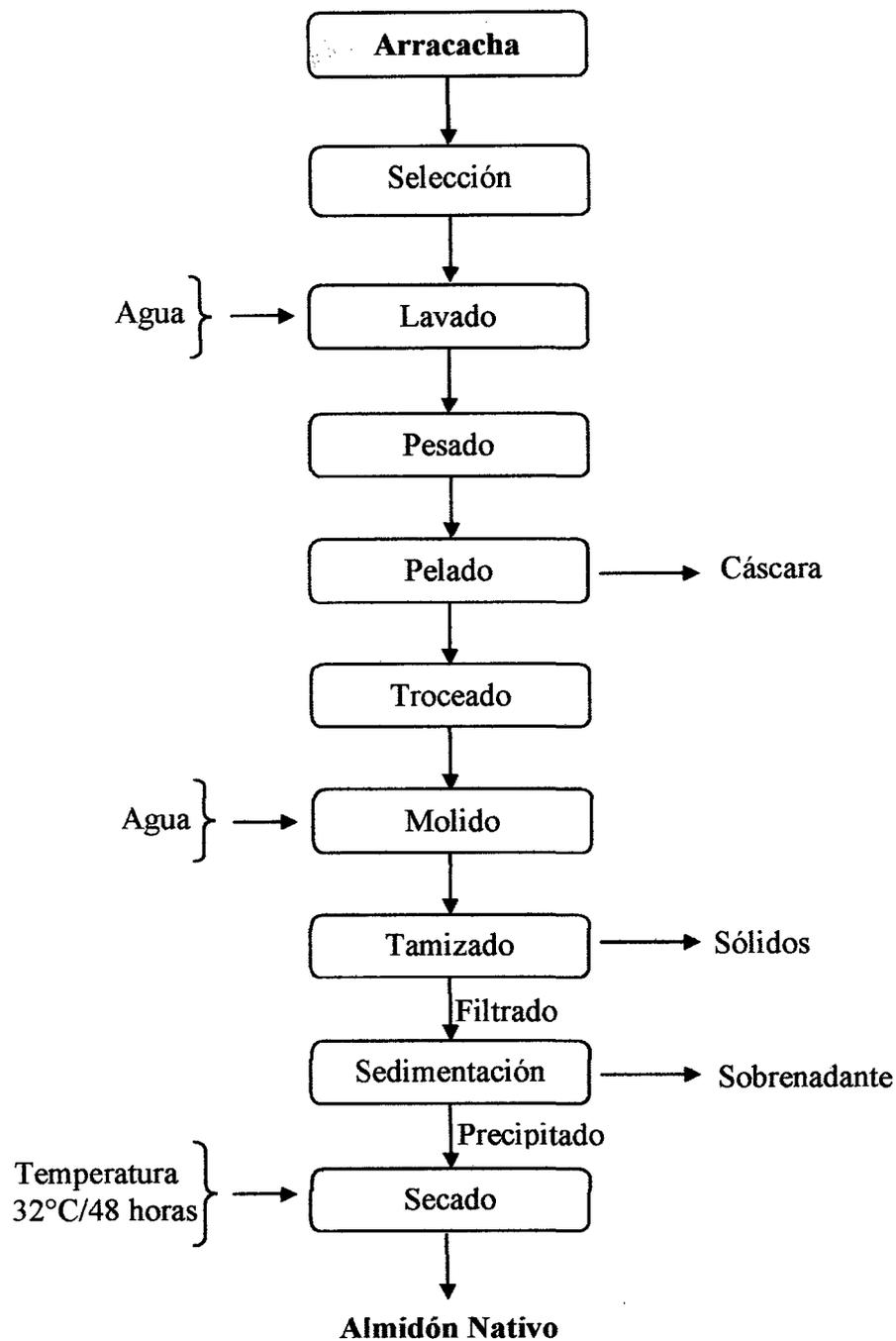
#### 2.3.1. Obtención de almidón nativo

El procedimiento para la obtención de almidón nativo de arracacha se muestra en la Figura 4, cuyas etapas se detallan a continuación:

- ❖ **Materia prima:** Constituida por raíces de arracacha en buen estado.
  
- ❖ **Selección:** Se tomaron las raíces que presentaron las mejores condiciones, libres de magulladuras, plagas, enfermedades y partes en

estado de descomposición.

- ❖ **Lavado:** El exterior de la arracacha fue sometida a lavado por 10 minutos en un chorro continuo de agua, para eliminar sustancias solubles y restos de tierra.
- ❖ **Pesado:** Se pesó la arracacha en una balanza de reloj cuya capacidad fue de 10 Kg, con la finalidad de evaluar el rendimiento.
- ❖ **Pelado:** Se realizó de forma mecánica para eliminar la cascara y las impurezas que han quedado después del lavado.
- ❖ **Troceado:** Con la ayuda de un cuchillo, se cortaron trozos con una arista entre 2 a 3cm para facilitar el posterior molido.
- ❖ **Molido:** Se realizó con la ayuda de la licuadora industrial hasta obtener partículas más finas.
- ❖ **Tamizado:** Utilizando tamices de 0,2mm de diámetro se procedió a separar el sólido (afrecho) del almidón presente en la solución.
- ❖ **Sedimentación:** Se dejó la suspensión en un recipiente plástico por 24 horas a temperatura ambiente para facilitar el precipitado.
- ❖ **Secado:** El precipitado fue sometido a secado a una temperatura de 32°C, hasta alcanzar una humedad de 10 a 13%.



Fuente: Elaboración propia

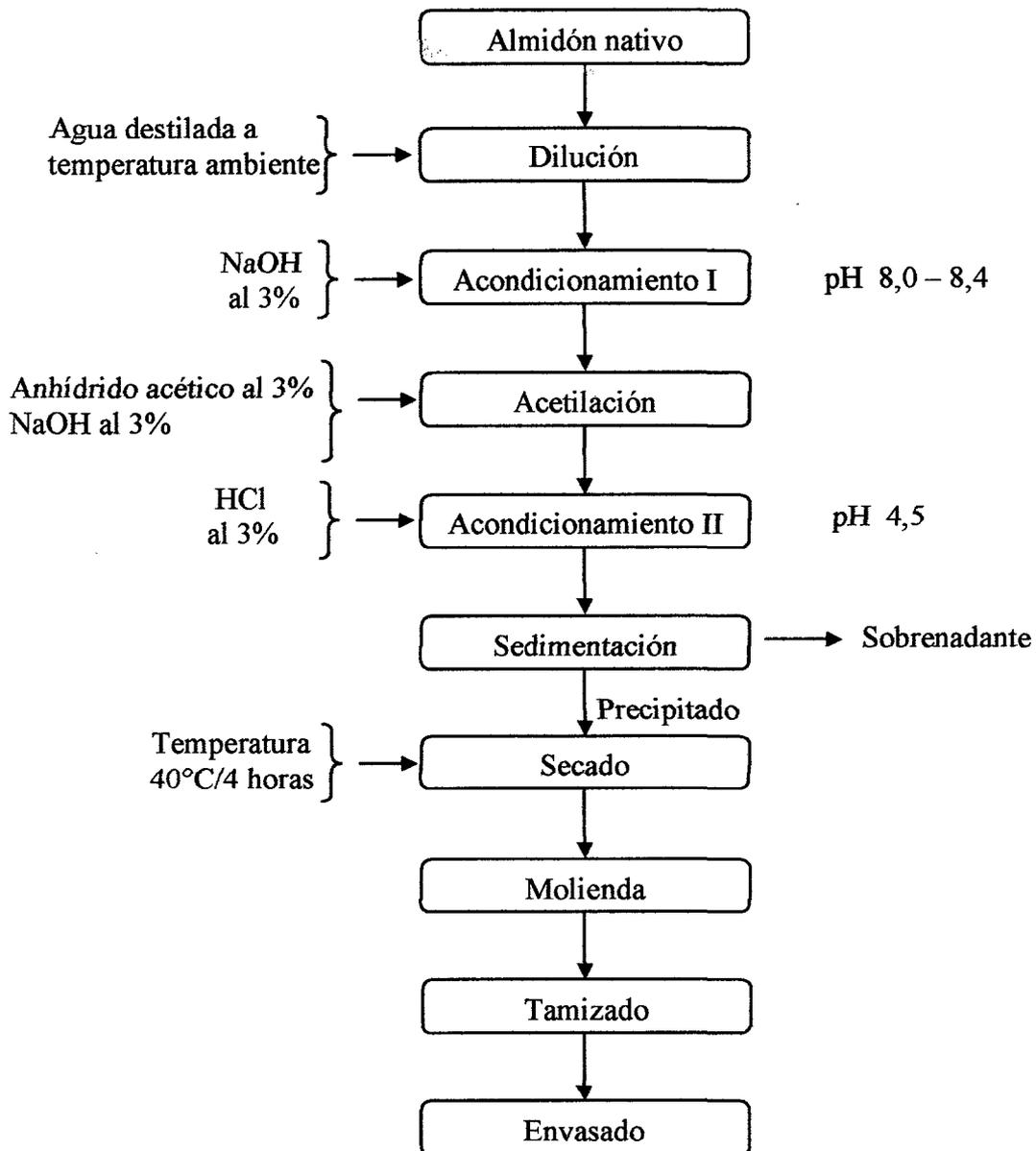
**Figura 4: Diagrama de flujo de extracción de almidón nativo de arracacha**

### 2.3.2. Modificación del almidón por Acetilación

La acetilación de los almidones se realizó mediante la metodología propuesta por Mark y Mehlretter (1972), con algunas modificaciones. El procedimiento para la acetilación de almidón nativo de arracacha se muestra en la Figura 5, cuyas etapas se detallan a continuación:

- ✓ **Dilución:** Se realizó para obtener una suspensión uniforme de almidón nativo (100g de almidón en base seca, con 500mL de agua destilada).
- ✓ **Acondicionamiento I:** A la solución se adicionó NaOH al 3% hasta llegar a un pH de 8,0 y 8,4.
- ✓ **Acetilación:** Gota a gota se adicionó el anhídrido acético al 3% a la solución, manteniendo el pH entre 8.0–8.4 en combinación con el NaOH.
- ✓ **Acondicionamiento II:** Con la adición del HCl al 3% se disminuye el pH a 4,5.
- ✓ **Sedimentación:** La solución fue puesta en refrigeración por un tiempo de 12 horas.
- ✓ **Secado:** Se realizó en la estufa del laboratorio de tecnología una temperatura de 40°C, por un tiempo de 4 horas.
- ✓ **Molienda.** Realizada de forma manual con la ayuda del mortero hasta obtener una muestra totalmente pulverizada.

- ✓ **Tamizado.** Para eliminar partículas de mayor diámetro se utilizó tamices de 0.2mm y así obtener un almidón más fino.
- ✓ **Envasado.** se realizó en bolsas plásticas de manera rápida para mantener el grado de humedad (12%).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5: Diagrama de flujo de obtención de almidón modificado de arracacha.**

## **2.4. Evaluación de las características fisicoquímicas del almidón modificado**

**2.4.1. Tiempo de gelatinización:** Para determinar el tiempo de gelatinización del almidón modificado obtenido a partir del almidón nativo de “arracacha”, se empleó el método descrito por Paredes et al (1999), adaptado a las condiciones del laboratorio de tecnología, mostrado en el anexo 1.2.

**2.4.2. Temperatura de gelatinización:** Para determinar la temperatura de gelatinización del almidón modificado obtenido a partir del almidón nativo de “arracacha”, se siguió el método descrito por Paredes et al (1999), adaptado a las condiciones del laboratorio de tecnología, mostrado en el anexo 1.3.

**2.4.3. Viscosidad:** Se determinó la viscosidad del almidón modificado obtenido a partir del almidón de “arracacha”, utilizando la técnica propuesta por la AACC (2000), con algunas modificaciones, mostrado en el anexo 1.4.

**2.4.4. Sinéresis:** Para determinar presencia de sinéresis en el almidón modificado obtenido a partir del almidón nativo de “arracacha”, se empleó el método descrito por Hosney (1980), con algunas modificaciones, mostrado en el anexo 1.5.

**2.4.5. Retrogradación:** Para determinar la retrogradación del almidón modificado obtenido a partir del almidón nativo de “arracacha”, se

consideró el método descrito por Hosney (1980), con algunas modificaciones, mostrado en el anexo 1.6.

**2.4.6. Estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón**

**acetilados:** Para determinar estabilidad a la congelación – descongelación del almidón modificado obtenido de almidón de “arracacha”, se empleó el método propuesto por Bello-Perez et al. (2002), con algunas modificaciones, mostrado en el anexo 1.7.

**2.4.7. Capacidad de retención de agua (CRA):** La capacidad de retención de

agua se evaluó cualitativamente. A la suspensión de carne se agregó el 10% de almidón, la cual fue sometida a un tratamiento térmico (90°C) y luego a un centrifugado para observar la liberación de agua, mostrada en el anexo 1.8.

**2.4.8. Determinación del porcentaje de grupos acetilos:** Se utilizó la técnica

propuesta por Wurzburg (1986), adaptado a las condiciones del laboratorio de tecnología, mostrado en el anexo 9.1.

**2.4.9. Determinación del grado de sustitución en la reacción de acetilación:**

Se utilizó la técnica propuesta por Wurzburg (1986), adaptado a las condiciones del laboratorio de tecnología, mostrado en el anexo 9.2.

## 2.5. Análisis estadístico

### Evaluación del almidón modificado

Para evaluar estadísticamente, el tiempo y temperatura de gelatinización, viscosidad, sinéresis y retrogradación del almidón modificado obtenido a partir del almidón nativo de “arracacha”, se empleó un experimento factorial 3Ax3Bx2C bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones, por unidad experimental. Se hizo uso de los paquetes estadísticos SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences) y STATGRAPHICS 5.0 PLUS (Statistical Graphics System).

#### Factores:

##### A. acetilación:

a<sub>1</sub> : Anhídrido Acético 10mL

a<sub>2</sub> : Anhídrido Acético 10,5mL

a<sub>3</sub> : Anhídrido Acético 11mL

##### B. Tiempo

b<sub>1</sub>: 20 minutos

b<sub>2</sub>: 30 minutos

b<sub>3</sub>: 40 minutos

##### C. Temperatura

c<sub>1</sub> : 20°C

c<sub>2</sub> : 40°C

**Variable Respuesta:** Tiempo y temperatura de gelatinización, viscosidad, sinéresis y retrogradación.

**Unidad Experimental:** Almidón nativo de Arracacha.

**Modelo Aditivo Lineal.**

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Almidón modificado de arracacha experimentado en el  $i$ -ésima acetilación, en la  $j$ -ésimo tiempo, en la  $k$ -ésima temperatura de cada unidad experimental.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima concentración de acetilación.

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo tiempo.

$\delta_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima temperatura

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima acetilación,  $j$ -ésimo tiempo.

$(\alpha\delta)_{ik}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima acetilación,  $k$ -ésima temperatura.

$(\beta\delta)_{jk}$  = Efecto de la interacción de la  $j$ -ésimo tiempo,  $k$ -ésima temperatura.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima acetilación,  $j$ -ésimo tiempo,  $k$ -ésima temperatura.

$\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

## **Comparaciones Múltiples**

Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, se emplearan la prueba Tukey al 95% de confianza.

## **Evaluación del tiempo de gelatinización del almidón modificado**

Para evaluar estadísticamente los valores del tiempo de gelatinización del almidón modificado, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 18 tratamientos (provenientes de la obtención del almidón modificado) más un testigo (almidón nativo); y 3 repeticiones. Se hizo uso del paquete estadístico SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = tiempo (s) de gelatinización experimentado en el  $i$ -ésimo almidón modificado extraído de almidón nativo arracacha, evaluado en la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo almidón modificado.

$E_{ij}$  = Error experimental.

## **Evaluación de la temperatura de gelatinización del almidón modificado**

Para evaluar estadísticamente los valores de la temperatura de gelatinización del almidón modificado, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 18 tratamientos (provenientes de la obtención del almidón modificado) más un testigo (almidón nativo); y 3 repeticiones. Se hizo uso

del paquete estadístico SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Tiempo (s) de gelatinización experimentado en el  $i$ -ésimo almidón modificado extraído de almidón nativo arracacha, evaluado en la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo almidón modificado.

$E_{ij}$  = Error experimental.

#### **Evaluación de la viscosidad del almidón modificado**

Para evaluar estadísticamente los valores de la viscosidad del almidón modificado, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 18 tratamientos (provenientes de la obtención del almidón modificado) más un testigo (almidón nativo); y 3 repeticiones. Se hizo uso de los paquetes estadísticos SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences) y STATGRAPHICS (Statistical Graphics System) 5.0 PLUS.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Viscosidad experimentado en el  $i$ -ésimo almidón modificado extraído de almidón nativo arracacha, evaluado en la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo almidón modificado.

$E_{ij}$  = Error experimental.

### Descripción de los tratamientos

**Tabla 3:** Claves de los diferentes tratamientos

CLAVE	TRATAMIENTO
T1	10%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T2	10%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T3	10%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T4	10%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T5	10%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T6	10%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
T7	10,5%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T8	10,5%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T9	10,5%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T10	10,5%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T11	10,5%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T12	10,5%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
T13	11%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T14	11%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T15	11%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T16	11%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T17	11%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T18	11%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
Testigo	Almidón nativo

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Propiedades físicas

- 3.1.1. En la Tabla 4 Se presentan los valores promedio de parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos del almidón modificado de *Arracacia xanthorriza*.
- 3.1.2. En la Tabla 5 se muestra los valores promedio de tiempo y temperatura de gelatinización de los diferentes tratamientos del almidón modificado obtenido del almidón nativo de *Arracacia xanthorriza*.
- 3.1.3. En la Figura 6 se pauta el comportamiento de la viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados por concentración de anhídrido acético.
- 3.1.4. En la Figura 7 se presenta los resultados de la evaluación de sinéresis en función del agua perdida expresada en porcentaje.
- 3.1.5. En la Figura 8 se exhibe los resultados de la evaluación de retrogradación en función de la formación de cristales y desprendimiento de agua expresada en porcentaje.
- 3.1.6. En la Figura 9 se muestra el comportamiento de la estabilidad del almidón modificado al congelamiento – deshielo en función de la viscosidad.
- 3.1.7. En la Figura 10 se ostenta la evaluación de la capacidad de retención de agua empleando almidón modificado.

### **3.2. Propiedades químicas**

**3.2.1.** En la Tabla 6 se muestra la determinación del porcentaje de grupos acetilos presente en los diferentes tratamientos de almidón modificado.

**3.2.2.** En la Tabla 7 se exhibe valores del grado de sustitución de almidón modificado obtenido de almidón de “arracacha”.

**Tabla 4:** Valores promedio de parámetros fisicoquímicos de los diferentes tratamientos del almidón modificado de *Arracacia xanthorrhiza*.

Tratamiento	%R	%H	T(°C)	%RD	PV (cP)
T1	10,0	13,48	20	69,00	4891,67
T2	10,0	13,48	40	79,30	5200,0
T3	10,0	13,48	20	77,80	4387,5
T4	10,0	13,48	40	79,85	4008,3
T5	10,0	13,48	20	82,03	4075,0
T6	10,0	13,48	40	80,60	4783,3
T7	10,5	13,48	20	82,76	6592,0
T8	10,5	13,48	40	79,83	4750,0
T9	10,5	13,48	20	78,00	4183,3
T10	10,5	13,48	40	69,00	4741,7
T11	10,5	13,48	20	79,30	4808,3
T12	10,5	13,48	40	77,80	4250,0
T13	11,0	13,48	20	69,00	4791,67
T14	11,0	13,48	40	79,30	4100,0
T15	11,0	13,48	20	77,80	5208,3
T16	11,0	13,48	40	83,66	6025,0
T17	11,0	13,48	20	81,00	5058,3
T18	11,0	13,48	40	79,86	5133,3
Testigo	-	13.48	-	21,5%	2487,5

R es la cantidad de reactivo utilizado en proceso de acetilación, expresado en porcentaje.

H es el porcentaje de humedad de la muestra antes de su modificación.

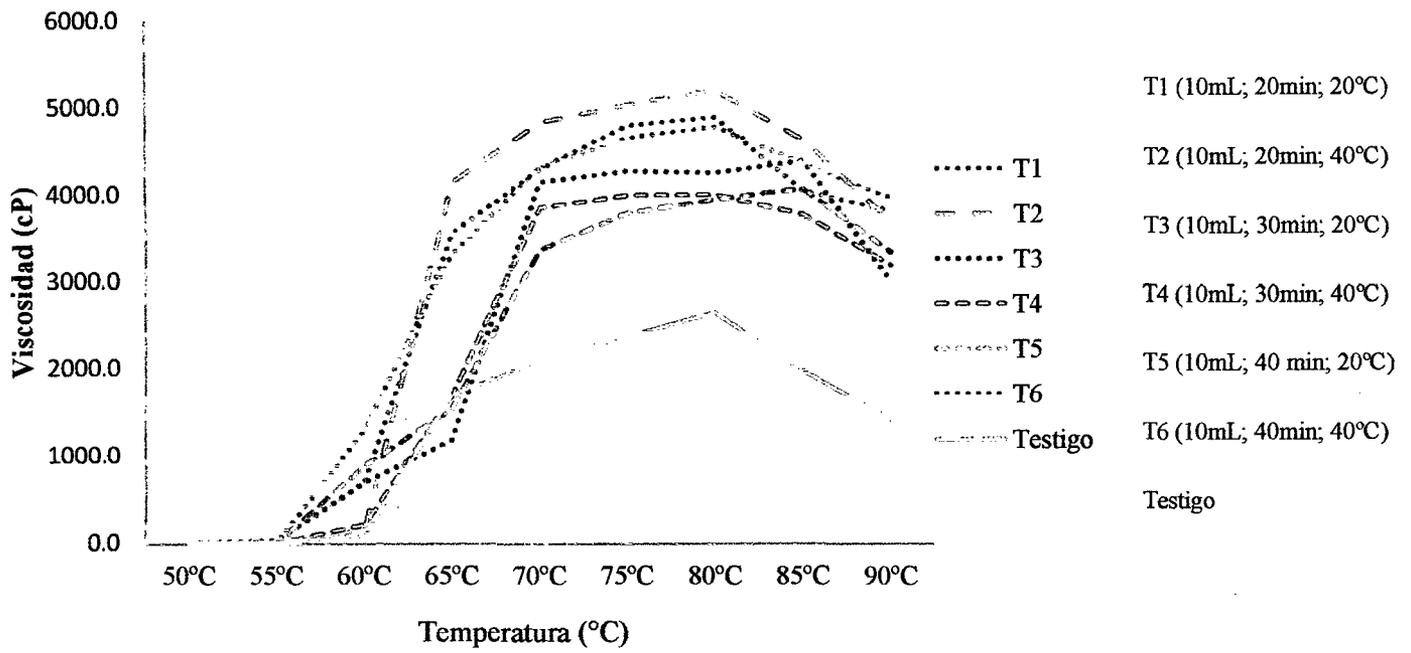
T es la temperatura de acetilación.

RD es el rendimiento de almidón después de la modificación, expresado en porcentaje.

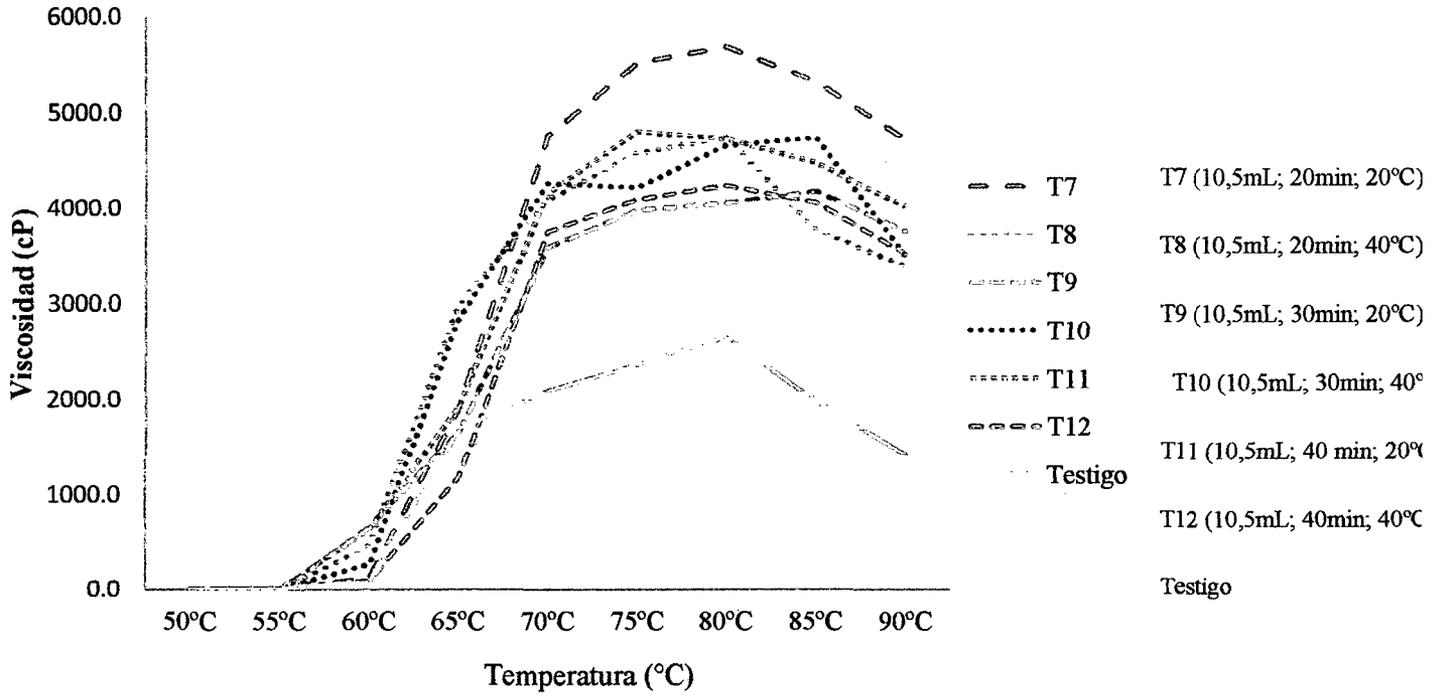
PV es el valor máximo de viscosidad.

**Tabla 5:** Valores promedio de tiempo y temperatura de gelatinización de los diferentes tratamientos del almidón modificado obtenido del almidón nativo de *Arracacia xanthorriza*.

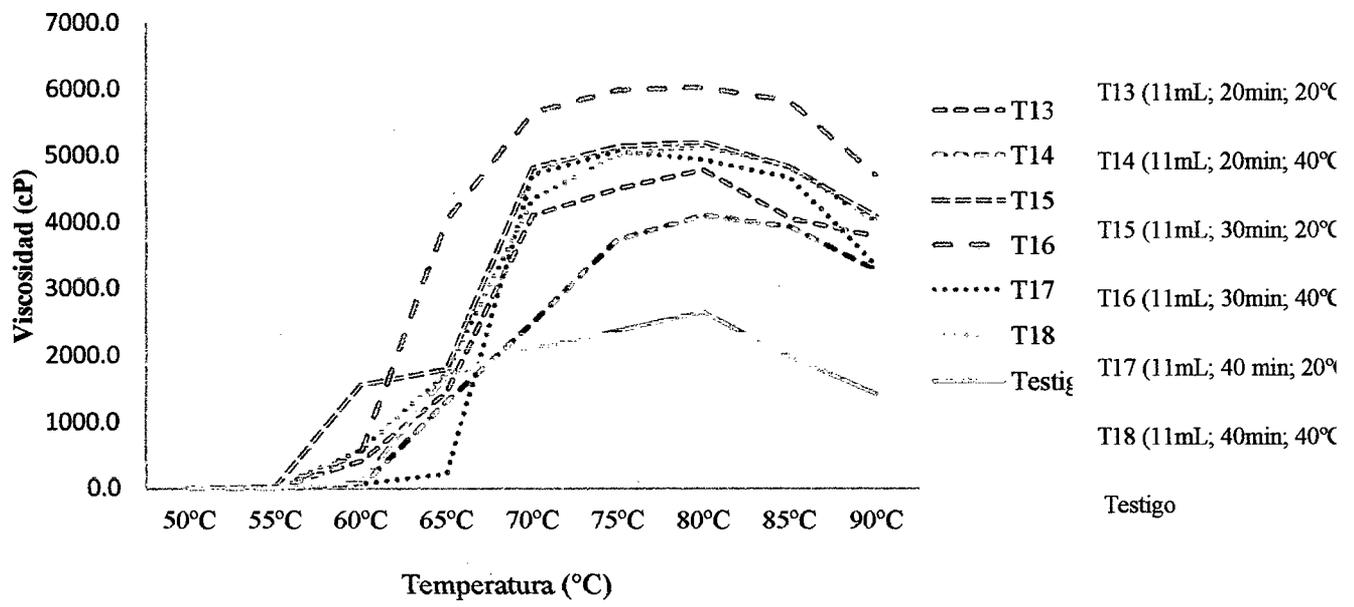
<b>Tratamientos</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>T (°C)</b>
T1	19.77	58.80
T2	20.97	61.30
T3	15.02	58.30
T4	18.25	58.70
T5	14.63	57.80
T6	16.85	58.20
T7	16.30	57.50
T8	16.94	57.70
T9	17.91	58.30
T10	14.74	57.80
T11	15.85	57.70
T12	18.07	59.30
T13	19.32	59.20
T14	16.95	59.30
T15	15.72	57.00
T16	14.68	57.20
T17	15.21	58.30
T18	16.59	57.20
<b>TESTIGO</b>	21.11	59.00



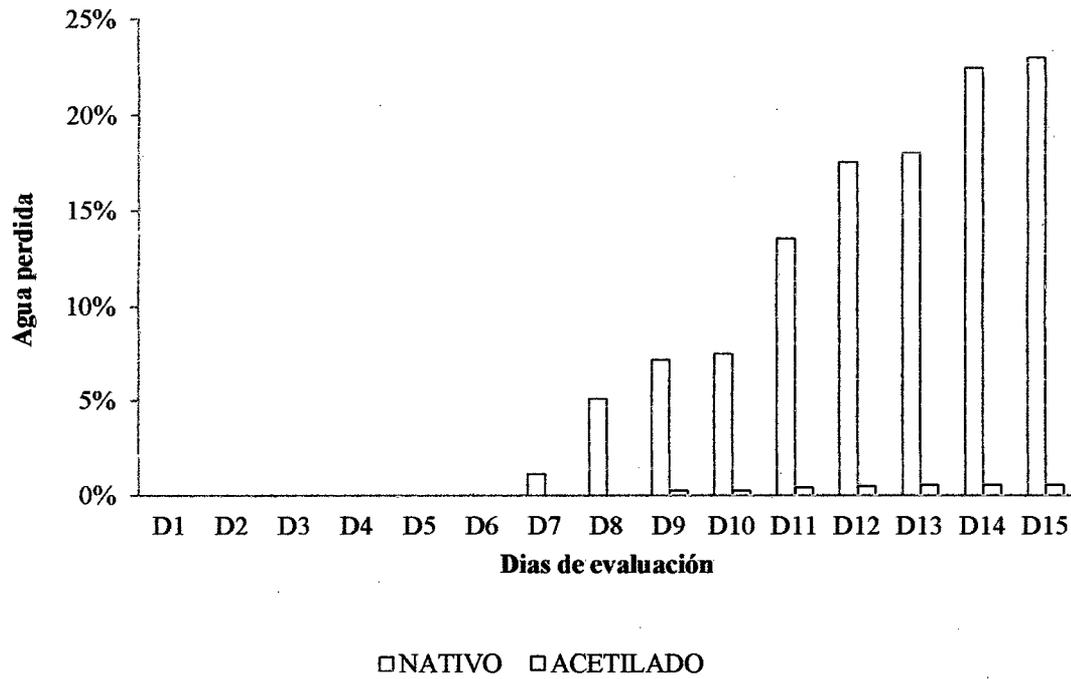
**Figura 6:** Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 10mL de anhídrido acético.



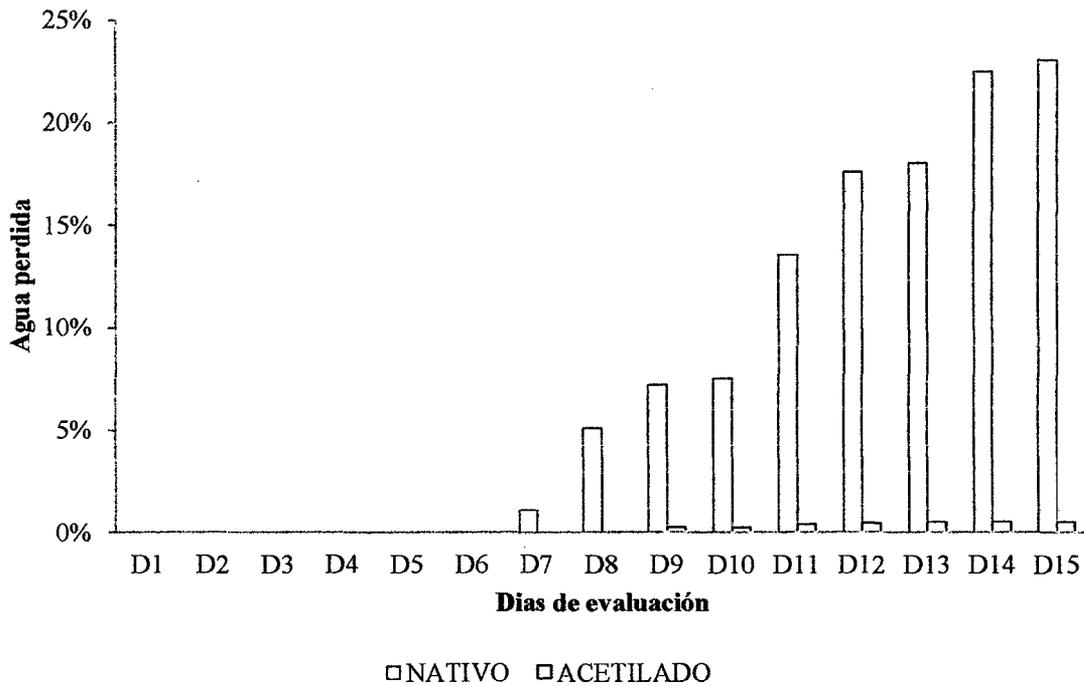
**Figura 7:** Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 10,5mL de anhídrido acético.



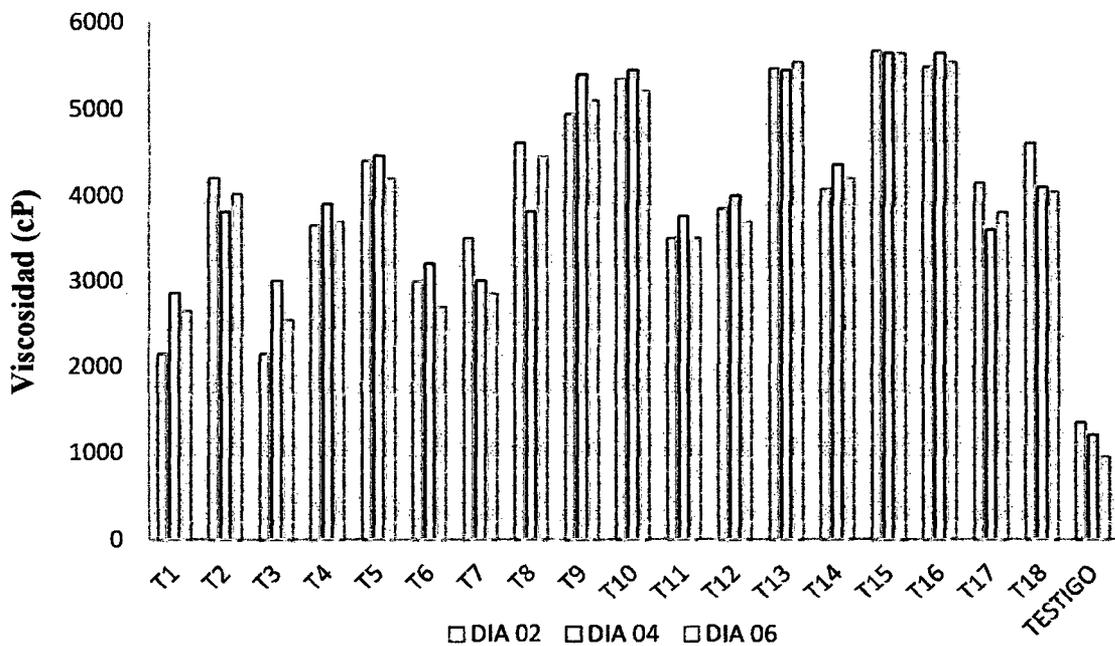
**Figura 8:** Viscosidad en función de la temperatura de los almidones acetilados agrupados a una concentración de 11mL de anhídrido acético.



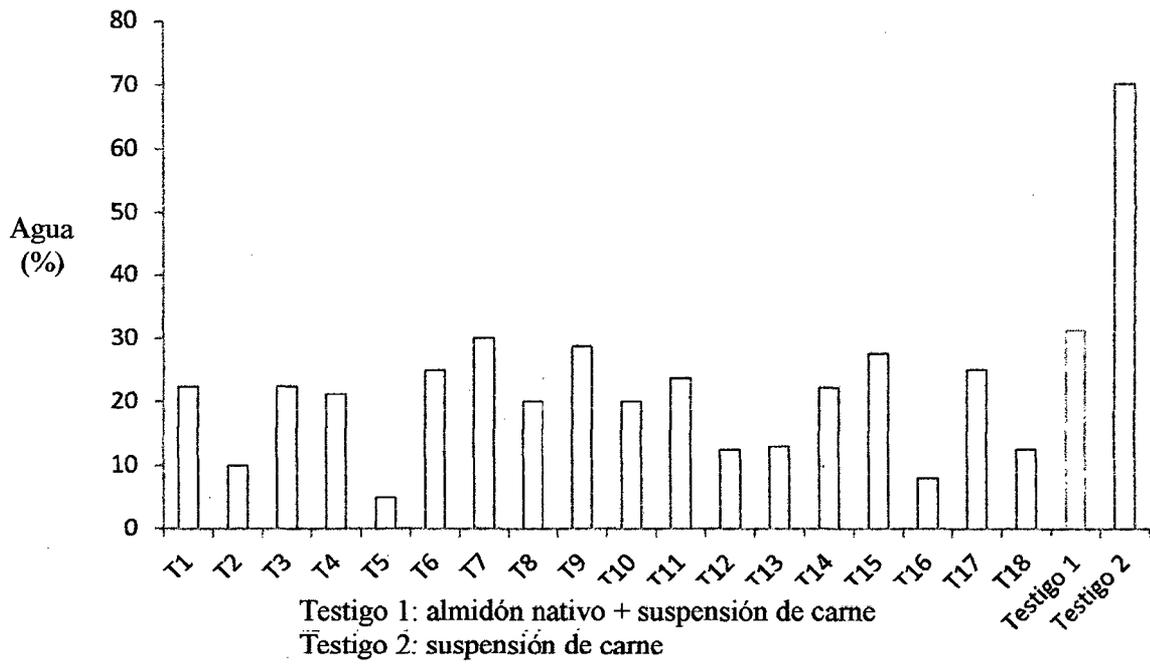
**Figura 9:** Sinéresis en función del agua perdida expresada en porcentaje.



**Figura 10:** Retrogradación en función de la formación de cristales y desprendimiento de agua expresada en porcentaje.



**Figura 11:** Estabilidad del almidón modificado al congelamiento – deshielo en función de la viscosidad.



**Figura 12:** Capacidad de Retención de Agua (CRA), en función del agua perdida expresada en porcentaje.

**Tabla 6:** valores promedio del porcentaje de acetilos y del grado de sustitución del almidón modificado de *Arracacia xanthorrhiza* en todos los tratamientos

<b>Tratamientos</b>	<b>% Acetilos</b>	<b>Grado de sustitución (GS)</b>
<b>T1</b>	0,28	0,010
<b>T2</b>	0,28	0,010
<b>T3</b>	0,55	0,021
<b>T4</b>	0,55	0,021
<b>T5</b>	0,69	0,026
<b>T6</b>	0,69	0,026
<b>T7</b>	1,38	0,053
<b>T8</b>	1,38	0,053
<b>T9</b>	1,78	0,068
<b>T10</b>	1,79	0,069
<b>T11</b>	2,25	0,085
<b>T12</b>	2,33	0,090
<b>T13</b>	2,75	0,110
<b>T14</b>	2,89	0,112
<b>T15</b>	3,165	0,123
<b>T16</b>	3,30	0,129
<b>T17</b>	3,85	0,151
<b>T18</b>	4,128	0,162
<b>Testigo</b>	-	-

#### IV. DISCUSIÓN

Las raíces *Arracacia xanthorrhiza* “arracacha” fue recolectado en la localidad de Yambrasbamba a una edad fisiológica de 10 meses, registrándose un rendimiento de 21,5% de almidón nativo (Tabla 4); valor similar (24%) al reportado por Pérez y Zagaceta (2010), lo que demuestra que el método empleado para la obtención de este almidón fue el adecuado.

En la Tabla 5, Se observa que los almidones modificados presentan menor temperatura de gelatinización, reportándose una temperatura de 57°C cuando se utilizó 11mL de anhídrido acético, un tiempo de 30 minutos y una temperatura de 40°C (T15); pero no se presentó una diferencia estadísticamente significativa utilizando el programa SPSS en comparación al almidón nativo que su temperatura de gelatinización fue de 59°C; Wootton y Bamunuarachchi, 1979 (citado por Rivas 2009); manifiestan que la introducción de grupos acetilo dentro de las cadenas de polímeros resultó en la desestabilización de la estructura granular, y como consecuencia incrementó la capacidad de hinchamiento y disminuyó la temperatura de gelatinización.

La evaluación de temperatura y tiempo de gelatinización en almidones acetilados a sido reportada por varios autores (Rutenberg y Solarek, 1984; Thomas y Atwell, 1999; Guerra-Della Valle, 2008; Singh et al., 2007), que atribuyen a que la modificación puede producir un debilitamiento de las fuerzas de enlace intra granular. Asimismo, la temperatura causa aumento de la movilidad de los gránulos de almidón, lo cual facilita la dispersión de las moléculas de almidón en el agua, produciendo un incremento en la solubilidad; en nuestra investigación (Tabla 5) los

menores tiempos de gelatinización se registraron al emplear 10mL de anhídrido acético, un tiempo de 40 minutos, una temperatura de 20°C (T5) y 11mL de anhídrido acético, un tiempo de 30 minutos, una temperatura de 40°C (T16) con un tiempo de 14,63s y 14,68s respectivamente. El mayor tiempo de gelatinización se registró en el testigo 21,11s; existiendo diferencia estadísticamente significativa. Esta característica está estrechamente relacionada a su menor contenido de amilosa la cual se reduce con la introducción de los grupos acetilos Rodríguez y col (2005).

En las Figuras 8, se observa que los almidones modificados en los diferentes tratamientos mostraron viscosidades mayores a las del almidón nativo, siendo el tratamiento T16 (11mL de anhídrido acético, un tiempo de 30 minutos, una temperatura de 40°C) el que alcanzó el mayor valor de viscosidad 6025 cP, a una temperatura de 75°C y 2487.5 cP para el almidón nativo a una temperatura de 80°C. El alto valor de viscosidad obtenido podría ser el efecto de la introducción de grupos acetilos que reducen la magnitud y el tipo de fuerza que mantienen estable la red intragranular, se produce mayor lixiviación de amilosa al medio circundante. López y García (2001) obtuvieron valores de viscosidad 59,96mPa para el almidón nativo de plátano y 125.78 mPa para el almidón acetilado de plátano.

En la evaluación de la viscosidad (Figura 6, Figura7, Figura 8) se muestra que los más altos valores presentaron los almidones modificados con respecto a los almidones nativos; este resultado fue similar a lo establecido por Rutenberg y Solarek (1984), quienes indican que los almidones acetilados se dispersan con mayor facilidad que los almidones nativos. Datos reportados en almidones acetilados de maíz y arroz demuestran que el incremento en el pico de viscosidad se da en la etapa de calentamiento en comparación al almidón nativo; Kuakpetoon y

Wang 2001 (citado por Rivas 2006) afirman que los gránulos de almidón acetilado son más fáciles de hincharse y aumentar a un mayor volumen que los no modificados, debido a un debilitamiento de las fuerzas intragranulares del almidón nativo, ocasionado por la introducción de grupos acetilos.

En la Figura 6, Figura 7 y Figura 8, se muestra que durante la etapa de calentamiento 50°C - 90°C, la viscosidad del almidón modificado se incrementó gradualmente hasta obtener un valor máximo (pico máximo de viscosidad); resultados similares fueron reportados por Rivas y col. (2009) quienes afirman durante la etapa de calentamiento (30 a 95 °C), la viscosidad de los almidones acetilados de plátano se incrementó gradualmente hasta obtener un valor máximo. Cuando el almidón es calentado en exceso de agua, los gránulos se hinchan y al mismo tiempo, parte de sus componentes se solubilizan, originando una suspensión de partículas en una fase continua. La viscosidad a partir de 85°C empieza a disminuir Figura 6; Rivas y col. (2009) mencionan que durante la etapa de sostenimiento a 90°C, la viscosidad disminuye (disociación del gránulo) y durante la etapa de enfriamiento (reasociación) se observa un incremento en la viscosidad; debido a la reorganización de las cadenas lineales (principalmente amilosa) solubilizadas durante las etapas de calentamiento y de mantenimiento isotérmico, que origina un mayor número de enlaces entrecruzados durante el proceso de formación del gel.

En la Figura 9 se puede observar que a partir del doceavo día de almacenamiento a una temperatura de 4°C, el porcentaje de agua liberada de las pastas de almidón acetilado es relativamente bajo con un valor de 0.52% en comparación al almidón nativo 23%; lo cual concuerda con Whistler y BeMiller 1999 (citado por Sanchez 2007), quienes manifiestan que a bajas temperaturas los geles de almidón pueden

presentar un fenómeno llamado sinéresis donde los geles pierden agua mediante la formación de capas superficiales sobre el gel, debido a que las moléculas de amilosa y amilopectina se asocian entre ellas, desplazando el agua contenida en el gel este fenómeno se acentúa con el tiempo. La sinéresis se favorece con tratamientos extremos como el congelamiento del gel Lee et al., 2002; Kweon et al., 1997b (citado por Sanchez 2007).

Al evaluar el fenómeno de retrogradación (Figura 10) de las pastas de almidón almacenadas en congelación (-15°C) durante 15 días, se observó que la acetilación disminuyó la tendencia a la retrogradación de las mismas. La acetilación previene la asociación entre las cadenas lineales de amilosa y los segmentos lineales de amilopectina, lo cual impide la retrogradación Singh et al. (2007); (Citada por Ismael Sánchez González, 2007).

La presencia de retrogradación se registró al almacenar los geles de almidón a una baja tempera; siendo los almidones modificados quienes presentaron una menor tendencia a la retrogradación (0.52% de agua liberada) comparado a los almidones nativos ( 23% de agua liberada) Figura 10, esto se atribuye a que los grupos hidroxilos son reemplazados por los grupos acetilos; debido a que estos grupos introducidos impiden la reorganización de las cadenas de almidón, coincidiendo la proporcionalidad de los resultados de esta investigación a los establecidos por Singh et al. (2007); (Citada por Ismael Sánchez González, 2007)

La acetilación produjo una disminución en la retrogradación del almidón, la cual fue mayor cuando se incrementó el grado de acetilación Figura 10; la mayor cantidad de grupos acetilo en las cadenas de almidón con la con comitante

disminución de los grupos OH en las cadenas del almidón, disminuyó las interacciones almidón almidón y por lo tanto el nivel de retrogradación (Singh y Singh, 2005).

La estabilidad al congelamiento - deshielo del almidón de arracacha nativo se incrementó con las modificaciones realizadas Figura 11, ya que el almidón nativo presentó una menor estabilidad, debido al menor valor de viscosidad (tercer ciclo de congelamiento). Los almidones modificados mostraron gran estabilidad, ya que en el tercer ciclo de congelamiento, presentaron un alto valor de viscosidad. Durante la acetilación de los almidones posiblemente se dio una despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando moléculas más lineales, presentando un fenómeno de agregación gradual de las cadenas lineales formando una malla que disminuyó la cantidad de agua separada Chen y Jane, (1994); Bello et al. (2002). (citado por Garcia y col, 2009).

Los almidones modificados presentaron una mayor capacidad de retención de agua CRA (Figura 12), cuando se empleo 10mL de anhídrido acético, un tiempo de 40 minutos, una temperatura de 20°C (T5) donde se obtuvo la máxima CRA 5% de agua liberada, en comparación al Testigo1 31.25% de agua liberada- Testigo2 70% de agua liberada; valores similares fue reportado en otro almidones por Bello-Pérez et al. (1998b). Esta situación se puede deber a la presencia de algunos grupos acetilo que pudieran originar una red o malla de las cadenas que se liberaron a partir del almidón a altas temperaturas, incrementando la CRA Wooton y Bamunuarachi, 1978 (citado por Rivas 2009).

El porcentaje de grupos acetilos (Tabla 6) se incrementó significativamente de 0,22 % cuando se empleó una concentración de 10% de anhídrido acético, un tiempo de 20 minutos y una temperatura de 20°C a 4,128 % el tratamiento T18 (11mL de anhídrido acético, un tiempo de 40 minutos, una temperatura de 40°C), mientras que el GS se incrementó de igual manera de 0,01 a 0,162, para los tratamiento T1(10mL de anhídrido acético, un tiempo de 20 minutos, una temperatura de 20°C) y T18 respectivamente. Esta diferencia se debió al mayor tiempo de reacción utilizado en la modificación del tratamiento T18 donde se empleó una concentración de 11% anhídrido acético, una temperatura de 40°C y un tiempo de 40 minutos, lo cual provocó que una mayor cantidad de grupos acetilos se introdujeran en la molécula del almidón. Liu y col. (1997) reportaron un contenido de grupos acetilo de 2,71 a 4,22 % y un GS de 0,11- 0,17 en almidones acetilados de maíz utilizando anhídrido acético al 10 % y una dispersión de almidón al 31 %. En almidón de *Canavalia ensiformis* acetilado con anhídrido acético al 8 % con diferentes condiciones, se cuantificó un contenido de grupos acetilos entre 1,5 y 2,3 % y un GS entre 0,057 y 0,091 (Betancur-Ancona y col. 1997). El contenido de grupos acetilo y el GS de los almidones acetilados depende de la fuente vegetal y de la estructura granular del almidón nativo (Singh y col., 2004a).

## V. CONCLUSIONES

La modificación química del almidón nativo de *Arracacia xanthorrhiza* logro mejorar las características fisicoquímicas, reduciendo el tiempo y temperatura de gelatinización, maximizando el valor de viscosidad, estos almidones también presentan menor tendencia a fenómenos como sinéresis y retrogradación.

La acetilación del almidón de arracacha permite obtener un producto con determinadas propiedades funcionales ampliando las posibilidades de usos de este polímero, principalmente en la industria de los alimentos, estabilizando el comportamiento reológico de las pastas y minimizando la retrogradación de las mismas.

En los tratamientos estudiados (tratamiento 1 al tratamiento 18), los valores de temperatura de gelatinización de los almidones modificados, no presentan diferencia significativa en comparación con la temperatura de gelatinización del almidón nativo de arracacha.

14,64s fue el menor tiempo de gelatinización del almidón modificado, y se logró al emplear una concentración de 10% de anhídrido acético, un tiempo de 40 minutos y una temperatura de 20 °C en el proceso de acetilación.

La temperatura de gelatinización de los almidones modificados y del testigo, se encuentra en un rango de temperaturas entre 57°C – 61,3°C, no existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre estos.

El máximo valor de viscosidad de los almidones acetilados se presenta a una temperatura de 75°C – 80°C, empezando la viscosidad a disminuir a partir de una temperatura de 85°C – 90°C, debido al rompimiento de los gránulos de almidón.

El mayor valor viscosidad fue de 6025 cP y se registró a una temperatura de 80°C cuando se empleó 11mL de anhídrido acético, un tiempo de 30 minutos, una temperatura de 40°C (T16); es importante señalar que, en general, la modificación incrementó la viscosidad de todas las muestras.

Los almidones acetilados presentaron menor tendencia al fenómeno de siseresis desprendiendo 0.52% de agua en comparación al almidón nativo que presento un 23% de liberación de agua.

Los diferentes tratamientos de almidón modificado tienen mayor estabilidad durante los días de evaluación, sobresaliendo el tratamiento 15 y tratamiento 16 como los más estables, lo que no sucede con el testigo que en los primeros días de evaluación tiene un mayor valor de viscosidad que va disminuyendo con los ciclos de congelamiento – deshielo.

Todos los tratamientos de almidón modificado tiene una mayor capacidad de retención de agua en comparación al almidón nativo, teniendo una mayor capacidad de retención de agua de 95% en el tratamiento 5 y 92% por el tratamiento 16.

## VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de almidones nativos y modificados de *Arracacia xanthoriza* en las diferentes provincias de la región Amazonas, así como su aplicación en la industria de alimentos.

Realizar investigaciones tomando el método de la modificación química, utilizando diferentes reactivos que permitan mejorar el tiempo de gelatinización de los almidones modificados.

Utilizar almidones acetilados de *Arracacia xanthoriza* principalmente en la línea de procesamiento de carnes y embutidos, por su alta capacidad de retención de agua y su bajo costo de producción.

Proponer a las autoridades competentes realizar estudios de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de almidones modificados, así mismo que aproveche residuos restantes de la arracacha para elaboración de alimento balanceado para ganado porcino, con la finalidad de generar un valor agregado esta materia prima que se produce de forma natural en la región Amazonas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, 10 thed., St. Paul, MN. Vol. 11.

Bello-Pérez L. A., Pano de León Y., Agama-Acevedo E. y Paredes-López O. 1998. Aislamiento y la caracterización parcial de almidones de amaranto y almidones de plátano. *Almidón*, 50: 409-413.

Bello-Pérez L. A. y Paredes-López O. 1999. El almidón: lo comemos, pero no lo Conocemos. *Ciencia*, 50: 29-33. México.

Bello-Pérez L, Contreras-Ramos S, Romero-Manilla R, Solorza-Feria J, Jiménez Aparicio A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musaparadisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*; 36:169-180.

Bello-Pérez L. A., Rendón-Villalobos J. R., Agama-Acevedo E. e Islas-Hernández J.J. 2006. In vitro starch digestibility of tortillas elaborated by different masa preparation procedures. *Cereal Chemistry*, 83: 188-193.

Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L. y Cañizarez-Hernández, E. 1997. Acetylation y caracterización de almidón de ensiformis de canavalia. *El periódico de Agricultura y Comida Química* 45, 378-382.

Buléon A., Colonna P., Planchot V. y Ball S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23: 85-112.

Curá J. A., Jansson P. E. y Krisman C. R. 1995. Amylose is not strictly linear. *Starch/Stärke*, 47: 207-209.

Dirección General de Información Agraria (2009) “Oficina de estudios económicos estadísticos” – Agencia agraria Amazonas – Perú.

Fannon J.E, Hauber R J, Bemiller J.1992. Surface pores of starch granules. *Cereal chemistry*. 69: 284-288.

Fleche G. 1985. Chemical Modification and Degradation of Starch. En: *Starch Conversion Technology*, (G. M. Van Beynum y J. A. Roel, eds.), Pp 73-87. Marcel Dekker Inc, New York, USA.

García, A. Pacheco–Delahaye E. Tovar, J. Pérez, E. Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracacha (*arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas Instituto de Ciencia y Tecnología, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela-Caracas, Venezuela. Pp. 384 – 394.

Gerencia Regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente (2006) - Gobierno Regional la Libertad - Perú.

Graaf R. A, Broekroelofs A, Janssen L. P. M. 1998. The acetylation of starch by reactive extrusion. *Starch/starke*. 50(5): 198-205.

Guerra-DellaValle. 2007. Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L). México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Departamento de desarrollo tecnológico. Instituto Politécnico Nacional.

Guerra-DellaValle, L. A. Bello-Pérez, R. A. González-Soto, J. Solorza-Feria, G. Arámbula-Villa. 2008. Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. Vol. 7. pp. 283-291.

Hoseney R C. 1980. Principios de ciencia y tecnología de cereales. Editorial Acribia,S.A. pp. 31-39.

Jane J, L. Kasemsuwan T, Leas S, Zobel H, Robyt J. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch/starke*.46:121-129.

Jarowenko W. 1986. Acetylated starch and miscellaneous organic esters. En: *Modified Starches: Properties and Uses*, (O. B. Wurzburg, Ed.), Pp. 64–73. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.

Kaur, L., Singh, J., and McCarthy, O. J., and Singh, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*. 82 (3), 383 - 394.

Light J. M. 1990. Modified food starches: Why, What, Where, and How. *Cereal Food World*, 35(11): 1081-1092.

Liu, H. J., Lelièvre, C., and Ayoung, W. 1991. A study of starch gelatinization using differential scanning calorimetry, X-ray and birefringence measurements. *Carbohydrate Polymers*. 10:175-182.

López C, A. S. Bermúdez. 2001. Efecto de la acetilación sobre las propiedades funcionales y nutricionales de almidón de haba (*Vicia faba*). *Revista colombiana de química. Facultad de ciencias*. vol.30.pp. 163-173.

López O., García M.A. 2001. Comportamiento reológico y retrogradación de pastas de almidones de maíz nativo y acetilado. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). 2Dto. de Ing. Química, Facultad de ingeniería. Universidad Nacional la Plata. Pp.86-94.

Mark A. M. y Mehlretter C. L. 1972. Facile preparation of starch triacetates. *Starch/Stärke*, 24: 73-76.

Myers A. M., Morell M. K. James M. G. y Ball S. G. 2000. Recent progress towards understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. *Plant Physiology*, 122: 989-997.

Myllarinen P, Buleon A, Lahtinen R, Forssell P. 2002. The crystallinity of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate polymers*. 48: 41-48.

Perez Ch. Deidi B. y Zagaceta R. Paulo M. 2010. Determinación de parámetros en la elaboración de una pasata a partir de arracacha amarilla (*Arracacia xanthorrhiza*)

y miel de caña de azúcar (*saccharum officinarum*) en la región amazonas. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de amazonas.

Rincón A, Lizet Bou Rached, Luis E. Aragoza, Fanny Padilla. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). Archivos latinoamericanos de nutrición. Universidad Central de Venezuela. Vol.57. pp.287-293.

Rivas-González M, P. B. Zamudio-Flores, L. A. Bello-Pérez. 2009. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Facultad de Química. 291-297

Rivas G. Mayra. 2006. Caracterización fisicoquímica y molecular de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*. L.var Macho) modificado por métodos químicos. México D.F. Tesis para optar el grado de maestro en ciencias en desarrollo de productos bióticos. Centro de desarrollo de productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional.

Robín J. P., Mercier C., Charbonniere R. y Guilbot A. 1974. Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry, 51: 389-406.

Rodríguez D., Magali Espitia., Yenith E., Caicedo Yubely E., Córdoba Yolima Baena y Claudia E. Mora. 2005. Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Revista colombiana. Facultad de ciencias químicas y farmacia. Vol 34. Pp. 140-146.

Rutenberg R. W. y Solarek D. (1984). Starch derivatives. Production and uses. En: Starch Chemistry and Technology, (R. L. Wistler, J. N. BeMiller y E. F. Paschall, eds.), Pp. 312- 388. Academic Press, New York, USA.

Sanchez G. Ismael 2007. Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. México D.F. tesis para optar el grado de maestro en tecnología avanzada.centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional.

Singh, J. and Singh, N. 2003. Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. Food Hydrocolloids. 17 (1), 63 - 72.

Singh, J., Kaur, L. y Singh, N. (2004a). Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. Starch/Stärke 56, 586-601.

Singh, N.S. y Singh, N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. Journal of Food Engineering 70, 117 127.

Singh J., Kaur L. y McCarthy O. J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. A review. *Food Hydrocolloids*, 21: 1-22.

Tester R. F., Karkalas J. y Qi X. 2004. Starch: composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39: 151-165.

Thomas D. J, y Atwell W. A. 1999. Starches: practical Guides for the food Industry. Eagan press Handbook Series AACC, St.Paul, Minnesota.USA.

Trejo Cárdenasa C, A.D. Román Gutiérreza, F. Prieto Garcíaa, E. Alanís Graciaa, L.A. Bello Pérez. 2010. caracterización de la microestructura del almidón acetilado de cebada. XII congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. Universidad autónoma de Guanajuato. pp. 691-697.

Wurzburg O. B. 1986. Acetylation. En *Methods in Carbohydrate Chemistry Vol IV*, (R.L.Whistler, R.J. Smith y M.L. Wolfrom eds.), Pp 240-241. Academic Press, New York, USA.

Xu Y., Miladinov V. y Hanna M. A. 2004. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution. *Cereal Chemistry*, 81: 735-740.

Zamudio F. Paul B. 2008. Caracterización estructural de películas elaboradas con almidón modificado de plátano y con quitosano. México D.F. tesis para obtener el grado de doctorado en ciencias y productos bióticos. Centro de desarrollo de productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS REALIZADOS EN ALMIDONES MODIFICADOS DE *Arracacia xanthorrhiza*.

#### **Anexo 1.1: Método empleado en la determinación de humedad**

Este análisis se realizó utilizando una balanza de humedad. (Adam Equipment, 2004), mediante un proceso de secado y eliminación del agua libre y semi ligada del producto. Este análisis se hizo al almidón nativo y almidón modificado.

#### **Anexo 1.2: Método seguido para determinar el tiempo de gelatinización**

Para determinar el tiempo de gelatinización, se pesaron 0,2g de almidón en base seca/ 4mL de agua en un tubo de ensayo de 16 x 150mm, la solución fue agitada vigorosamente hasta tener una mezcla homogénea, finalmente el tubo con la solución fue sometida a un baño maría a 80°C hasta que el almidón no resbale por las paredes del tubo, con la ayuda de un cronometro digital se determinó el tiempo gelatinización.

#### **Anexo 1.3: Método utilizado para determinar la temperatura de gelatinización**

Para determinar la temperatura de gelatinización, en un tubo de ensayo de 16 x 150mm, se pesaron 0,2g de almidón en base seca/ 4mL de agua, la solución fue agitada vigorosamente hasta tener una mezcla homogénea, seguidamente el tubo con la solución fue sometida a un

baño maría a 80°C hasta que el almidón no resbale por las paredes del tubo, en ese momento con la ayuda de un termómetro se midió la temperatura a la cual gelatiniza el almidón.

#### **Anexo 1.4: Método empleado para determinar viscosidad**

El análisis de viscosidad se realizó empleando el viscosímetro utilizando el spin N° 2; 3; 4 y a una velocidad angular de 60 RPM; se pesaron 6gr de almidón en base seca/ 120mL de agua destilada, seguidamente la solución fue agitada con la ayuda de una bagueta para luego llevarlo al agitador magnético donde la muestra fue agitada y calentada al mismo tiempo a 50°C; 55°C; 60°C; 65°C; 70°C; 75°C; 80°C; 85°C; 90°C, y donde se midió la viscosidad por cada temperatura.

#### **Anexo 1.5: Método utilizado para determinar Sinéresis**

Para evaluar sinéresis empleó el método descrito por Hosney (1980), con algunas modificaciones, en un vaso de precipitado de 100mL se pesaron 2.5gr de almidón en base seca/50mL de agua destilada, la solución fue agitada y llevada a un baño maría a 85°C hasta gelifique, finalmente la muestra fue enfriada y colocada en refrigeración a una temperatura de 4°C por 15 días, donde se evaluó cualitativamente la presencia o no de liberación de agua.

### **Anexo 1.6: Método utilizado para determinar Retrogradación**

Para determinar la retrogradación, se tomó el método descrito por Hosney (1980), con algunas modificaciones, en vasos de plástico de 150mL, se pesaron 2.5gr de almidón en base seca/50mL de agua destilada, las soluciones fueron agitadas y llevadas a un baño maría a 85°C hasta gelifiquen, las muestras se enfriaron y colocaron en congelación a una temperatura de 0°C por 15días, finalmente cada 24 horas las muestras se descongelaron y se evaluó cualitativamente la presencia o no de la formación de cristales y el desprendimiento de agua.

### **Anexo 1.7: Método seguido para determinar la estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón**

La estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón fue evaluada durante 6 días para esta evaluación se utilizó vasos de plástico de 150mL, se pesaron 4g de almidón en base seca/80ml de agua destilada, la solución (almidón/agua) se agito hasta tener mezcla homogénea, luego fue sometida a un baño maría a 90°C por 10min, las muestras se enfriaron y colocaron en congelación a una temperatura de -15°C; a las 24 horas, las muestras fueron descongeladas a 30°C y se midió la viscosidad para determinar su estabilidad, finalmente las muestras nuevamente fueron colocadas en congelación.

**Anexo 1.8: Método utilizado para determinar Capacidad de retención de agua  
(CRA)**

Para determinar la capacidad de retención de agua, en tubos de ensayo se pesaron 2g de carne, 0,2g de almidón en base seca y 4mL de agua destilada, la solución fue agitada vigorosamente hasta tener una mezcla homogénea, luego fueron llevadas a un baño maría a 90°C por 15min, seguidamente las muestras se enfriaron y se centrifugaron a 3500RPM x 15min. Finalmente a las muestras con la ayuda de una pipeta fueron medidos el volumen de agua perdida y por diferencia determinar el porcentaje de capacidad CRA de cada tratamiento.

## Descripción de los diferentes tratamientos e interpretación estadística

**Tabla 3:** Claves de los diferentes tratamientos

CLAVE	TRATAMIENTO
T1	10%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T2	10%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T3	10%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T4	10%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T5	10%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T6	10%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
T7	10,5%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T8	10,5%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T9	10,5%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T10	10,5%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T11	10,5%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T12	10,5%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
T13	11%anhidrido acético; 20minutos; 20°C
T14	11%anhidrido acético; 20minutos; 40°C
T15	11%anhidrido acético; 30minutos; 20°C
T16	11%anhidrido acético; 30minutos; 40°C
T17	11%anhidrido acético; 40minutos; 20°C
T18	11%anhidrido acético; 40minutos; 40°C
Testigo	Almidón nativo

**Tabla 4:** Interpretación estadística

CLAVE	INTERPRETACIÓN
a	-Misma letra pertenece a un grupo homogéneo
b	
c	
d	- Diferente letra diferencia estadísticamente significativa
e	
f	

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO 2

**Anexo 2.1: Valores del rendimiento de los diferentes tratamientos del almidón modificado expresado en porcentaje**

REPETICIÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	70	79	78.55	84	84	79	79.5	79	79	64	84	77	73	73	73	85	78	79
R2	68	85	76.85	76.55	80	80	86	82.5	76	75	75	77.4	65	86	81.4	81.5	81	82.6
R3	69	75	78	79	82,1	82.8	82.8	78	79	68	79	79	69	79	79	84.5	84	78

**Anexo 2.2: Valores promedios del rendimiento de los diferentes tratamientos del almidón modificado expresado en porcentaje**

TRATAMIENTOS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	207	238	233.4	239.55	246,1	241.8	248.3	239.5	234	307	238	233.4	207	238	233.4	251	243	239.6
$x_i$	69	79.3	77.80	79.85	82.03	80.6	82.76	79.83	78	69	79.3	77.80	69	79.33	77.80	83.66	81	79.86

### ANEXO 3

**Anexo 3.1:** Valores del tiempo de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de *Arracacia xanthorrhiza*.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	19.77	20.97	15.02	19.12	14.41	16.85	16.29	16.8	17.54	15	15.69	18	21.03	16.95	13.14	15.03	16.85	17
R2	19.71	20	12.85	18.64	14.63	17.18	16.31	16.94	18.08	14.47	15.85	18.78	17.6	16.9	16.91	14.18	15.56	16.18
R3	19.83	21.94	17.19	17	14.85	16.52	16.3	17.08	18.11	14.74	16	17.36	19.32	17	17.11	14.7	14.85	14.66

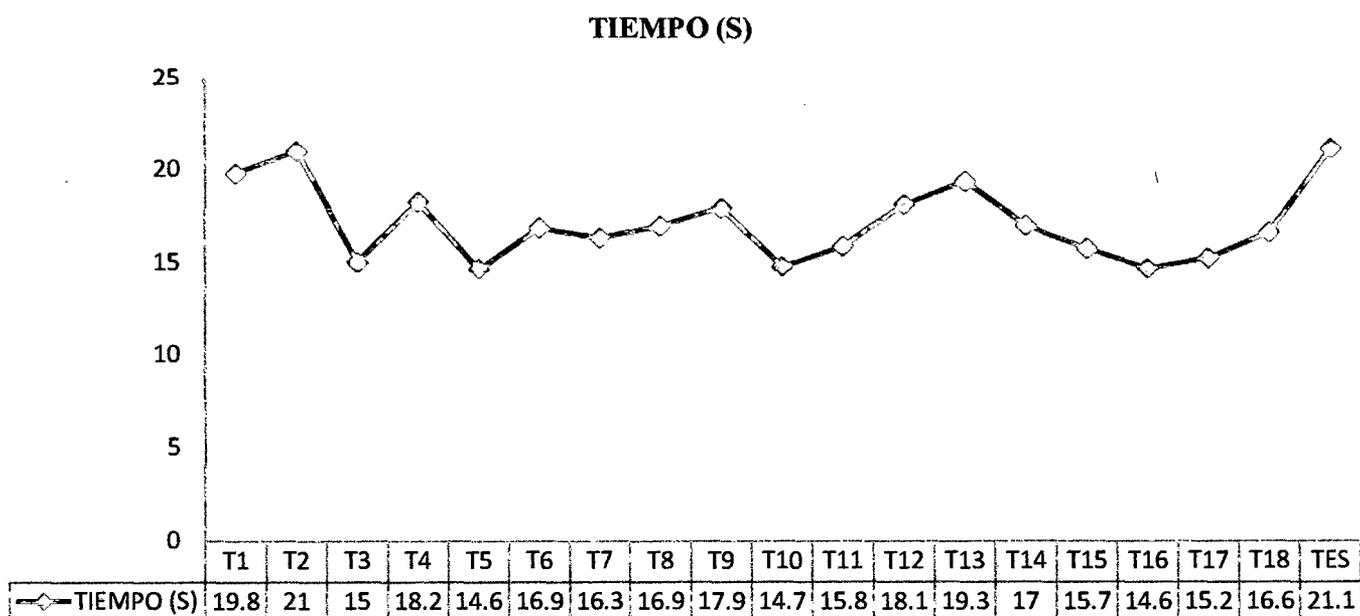
**Anexo 3.2:** Valores promedio del tiempo de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de *Arracacia xanthorrhiza*.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	59.31	62.91	45.06	54.76	43.89	50.55	48.9	50.82	53.73	44.21	47.54	54.14	57.95	50.85	47.16	43.91	47.26	47.84
$x_i$	19.77	20.97	15.02	18.25	14.63	16.85	16.3	16.94	17.91	14.74	15.85	18.07	19.32	16.95	15.72	14.64	15.21	16.59

**Anexo 3.3:** Valores promedio del tiempo de gelatinización del almidón modificado analizados estadísticamente (SPSS).

Tratamientos	Tiempo (s)			
T1	19.77			c d
T2	20.97			d
T3	15.02	a		
T4	18.25		b c	
T5	14.63	a		
T6	16.85	a	b	
T7	16.3	a	b	
T8	16.94	a	b	
T9	17.91		b c	
T10	14.74	a		
T11	15.85	a	b	
T12	18.07		b c	
T13	19.32	a	b	
T14	16.95	a	b	
T15	15.72	a	b	
T16	14.68	a		
T17	15.21	a		
T18	16.59	a		
TES	21.11			d

**Anexo 3.4:** Representación gráfica de los valores promedio de tiempo de gelatinización del almidón modificado.



## ANEXO 4

**Anexo 4.1:** Valores de temperatura de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de *Arracacia xanthorriza*.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	60	62	62	60	59	58	56	57	60	57.5	56	59	58	57	57	59.5	60	57
R2	58.5	64	56.5	58	58.5	58.5	56.5	58	57	60	59	59	60	60	57	57	58	57.5
R3	58	58	56.5	58	56	58	60	58	58	56	58	60	59.5	61	57	58	57	57

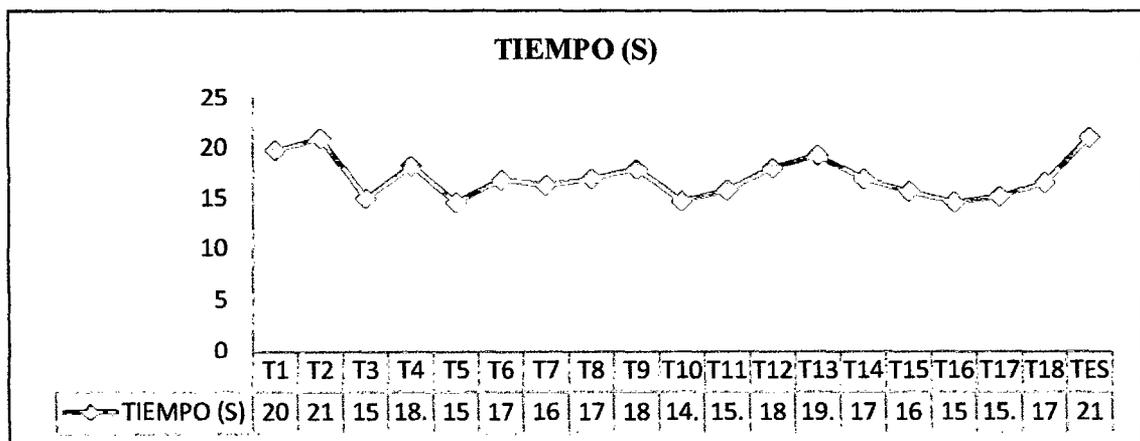
**Anexo 4.2:** Valores promedio de temperatura de gelatinización del almidón modificado obtenido de almidón de *Arracacia xanthorriza*.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	176.5	184	175	176	173.5	174.5	172.5	173	175	173.5	173	178	177.5	178	171	174.5	175	171.5
$x_i$	58.8	61.3	58.3	58.7	57.8	58.2	57.5	57.7	58.3	57.8	57.7	59.3	59.2	59.3	57	58.2	58.3	57.2

**Anexo 4.3:** Valores promedio de la temperatura de gelatinización del almidón modificado analizados estadísticamente (SPSS).

Tratamientos	T (°C)	
T1	58.8	a
T2	61.3	a
T3	58.3	a
T4	58.7	a
T5	57.8	a
T6	58.2	a
T7	57.5	a
T8	57.7	a
T9	58.3	a
T10	57.8	a
T11	57.7	a
T12	59.3	a
T13	59.2	a
T14	59.3	a
T15	57	a
T16	57.2	a
T17	58.3	a
T18	57.2	a
TES	59	a

**Anexo 4.4:** Representación gráfica de los valores promedio de la temperatura de gelatinización del almidón modificado.



## ANEXO 5

**Anexo 5.1:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 50°C

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	5	5	10	5	8.75	7.5	5.25	5	7.5	2.5	3.25	7.5	7.5	5	8.75	2.5	5	5
R2	5	5	5	5	7.5	6.25	2.5	5	3.75	7.5	3.75	5	7.5	7.5	10	5	7.5	7.5
R3	5	3.75	7.5	3.75	5	5	2.5	7.5	6.25	2.5	3.75	5	7.75	5	7.5	5	2.5	10

**Anexo 5.2:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 50°C

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	15	13.75	22.5	13.75	21.25	18.75	10.25	17.5	17.5	12.5	10.75	17.5	22.75	17.5	26.25	12.5	15	22.5
$x_i$	5	4.58	7.5	4.6	7.1	6.25	3.4	5.8	5.8	4.2	3.6	5.8	7.6	5.8	8.75	4.17	5	7.5

**Anexo 5.3:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 55°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
<b>R1</b>	7.5	7.5	50	10	20	8.75	10	7.5	10.5	8.75	12.5	10	7.5	10	8.75	10	15	10
<b>R2</b>	12.5	8.75	22.5	7.5	15	8.75	10	12.5	3.75	15	10	12.5	10	10	15	5	8.25	7.5
<b>R3</b>	7.5	7.5	30	5	15	10	7.5	7.5	7.5	17	10.5	7.5	7.5	15	27.5	6.25	17.5	12.5

**Anexo 5.4:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 55°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	27.5	23.75	102.5	22.5	50	27.5	27.5	27.5	21.75	40.75	33	30	25	35	51.25	21.25	40.75	30
$x_i$	9.17	7.9	34.17	7.5	16.7	9.17	9.17	9.17	7.3	13.6	11	10	8.3	11.7	19.25	7.1	13.6	10

**Anexo 5.5:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 60°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
<b>R1</b>	580	170	460	260	1135	1600	150	400	725	278.5	625	100	410	25	1500	600	60	480
<b>R2</b>	1025	160	697.5	175	650	1100	120	550	662.5	311.3	685	120	415	30	1800	550	60	750
<b>R3</b>	815	150	935	217.5	892.5	1200	135	475	600	245	640	110	420	25	1400	440	80	520

**Anexo 5.6:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 60°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\Sigma x_i$	2520	480	2093	653	2678	3900	405	1425	1988	834.8	1950	330	1245	80	4700	1590	200	1750
$x_i$	840	160	698	217.5	892.5	1300	135	475	662.5	278.3	650	110	415	26.7	1567	530	66.7	583

**Anexo 5.7:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 65°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	1050	4150	1265	1510	1550	3400	1850	3000	1600	2750	1935	1187	1200	1500	1885	3850	200	1885
R2	1550	3800	1100	1692	1547.5	3250	1980	3200	1670	2900	1865	1275	1650	1360	1900	3950	217.5	1700
R3	2100	4500	1182.5	1873	1545	3325	1915	2800	1740	2900	2000	1100	1500	1070	1600	4300	214.5	1620

**Anexo 5.8:** Valores promedios de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 65°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	4700	12450	3547.5	5075	4642.5	9975	5745	9000	5010	8550	5800	3562	4350	3930	5385	12100	632	5205
$x_i$	1567	4150	1182.5	1692	1547.5	3325	1915	3000	1670	2850	1933	1187.3	1450	1310	1795	4033	210.6	1735

**Anexo 5.9:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 70°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	2500	4820	4150	3675	3200	4325	4500	3900	3550	4250	4000	3762	3950	2300	4850	5400	4950	4350
R2	3100	4850	4150	3862	3375	4250	5000	4300	3500	4250	4200	3650	4375	2550	4900	5650	4550	4650
R3	3300	4850	4150	4050	3550	4400	4800	4100	3750	4300	4300	3875	4000	2600	4700	5900	4650	4050

**Anexo 5.10:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 70°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	8900	14520	12450	11587	10125	12975	14300	12300	10800	12800	12500	11287	4350	7450	14450	16950	14150	13050
$x_i$	2967	4840	4150	3862	3375	4325	4767	4100	3600	4267	4166.7	3762.3	1450	2483	4817	5650	4716.7	4350

**Anexo 5.11:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 75°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	3200	5037	4325	3800	3850	4662.5	5462.5	4600	3700	4150	4850	4000	4400	3900	5050	5800	5225	4800
R2	6450	4950	4350	4000	3800	4650	5650	4600	4050	4300	4525	4100	4600	3725	5300	6000	4900	5250
R3	4750	5125	4150	4200	3750	4675	5475	4550	4200	4225	5050	4200	4525	3600	5050	6150	5050	5000

**Anexo 5.12:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 75°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	14400	15112	12825	12000	11400	13987.5	16587.5	13750	11950	12675	14425	12300	13525	11225	15400	17950	15175	15050
$x_i$	4800	5037	4275	4000	3800	4662.5	5529	4583	3983.3	4225	4808	4100	4508.3	3742	5133	5983	5058.3	5016.7

**Anexo 5.13:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 80°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	3300	5200	4300	3725	3900	4750	5625	4800	3800	4450	4600	4100	4750	3850	5300	5950	5200	4950
R2	6375	5100	4200	4100	3950	4650	5950	4650	4125	4950	4800	4450	4900	4100	5250	5950	4800	5250
R3	5000	5300	4250	4200	4000	4950	5500	4800	4250	4575	4800	4200	4725	4350	5075	6175	4800	5200

**Anexo 5.14:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 80°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	14675	15600	12750	12025	11850	14350	17075	14250	12175	13975	14200	12750	14375	12300	15625	18075	14800	15400
$x_i$	4891.7	5200	4250	4008.5	3950	4783.3	5692	4750	4058.3	4658.3	4733	4250	4791.7	4100	5208	6025	4933.3	5133.3

**Anexo 5.15:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 85°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	2750	4637	4075	3650	3900	4100	5074	3600	3950	4675	4300	3850	3950	3400	5000	5650	4825	4600
R2	4600	4425	4700	4000	4075	4275	5700	4200	4150	4850	4550	4250	4200	4200	4850	5800	4375	5050
R3	4800	4850	4388	3675	4250	4700	5200	3550	4450	4700	4600	4100	4025	4200	4650	6000	4800	4875

**Anexo 5.16:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 85°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	12150	13912	13163	11325	12225	13075	15974	11350	12550	14225	13450	12200	12175	11800	14500	17450	14000	14525
$x_i$	4050	4637	4387.5	3775	4075	4358.3	5324.7	3783.3	4183.3	4741.7	4483	4066.7	4058	3933	4833.3	5816.7	4667	4841.7

**Anexo 5.17:** Valores de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 90°C.

REPETICION	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
R1	2750	370	3100	2700	3350	4350	4400	3250	3500	3135	3800	3500	3550	2600	4100	4575	3550	3950
R2	4600	3350	2900	3600	3600	3450	5100	4000	3900	3850	4375	3550	4050	3700	4300	4450	3325	4100
R3	4100	4050	3000	3300	3100	4100	4700	2950	3900	3550	3900	3550	3750	3550	3850	5100	3175	3950

**Anexo 5.18:** Valores promedio de viscosidad del almidón modificado a una temperatura de evaluación de 90°C.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
$\sum x_i$	11450	11100	90000	9600	10050	11900	14200	10200	11300	10535	12075	10600	11350	9850	12250	14125	10050	12000
$x_i$	3816.7	3700	3000	3200	3350	3967	4733.3	3400	3767	3511.7	4025	3533	3783.3	3283.3	4083.3	4708.3	3350	4000

**Anexo 5.19:** Valores de temperaturas de evaluación de la viscosidad e interpretación estadística del almidón modificado

Tratamientos	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C	90°C
T1	5.0 ab	9.2 a	706.7 d	3566.7 b	4300.0 b	4800.0 bcd	4891.7 bcdef	4050.0 b	3816.7 b c
T2	4.6 ab	7.9 a	160.0 abc	4150.0 d	4840.0 e	5037.3 cd	5200.0 cdef	4637.3 bc	3700.0 ab
T3	7.5 ab	34.2 b	697.5 cd	1182.5 b	4150 d e	4275 bc	4250 bcd	4387.5 bc	3000 ab c
T4	4.6 ab	7.5 a	217.5 abc	1691.8 b	3862.3 cd	4000.0 bc	4008. bc	3775.0 b	3200.0 ab c
T5	7.1 ab	16.7 a	892.5 d	1547.5 b	3375.0 bc	3800.0 b	3950.0 b	4075.0 b	3350.0 b c
T6	6.3 ab	9.2 a	1300 e	3325.0 c	4325.0 d e	4662.5 bc	4783.3 bcde	4358.3 bc	3966.7 b c
T7	3.4 a	9.2 a	135.0 abc	1915.0 b	4766.7 e	5529 bcd	5691.7 ef	5324 cd	4733.3 c
T8	5.8 ab	9.2 a	475.0 bcd	3000.0 c	4100.0 d	4583.3 bc	4750.0 bcde	3783.3 b	3400.0 b c
T9	5.8 ab	7.3 a	662.5 cd	1670.0 b	3600.0 cd	3983.3 bc	4058.3 bcd	4183.3 b	3766.7 b c
T10	4.2 ab	13.6 a	278.3 abc	2850.0 c	4266.7 d e	4225.0 bc	4658.3 bcde	4741.7 bcd	3511.7 b c
T11	3.6 a	11 a	650 cd	1933.3 b	4166.7 d e	4808.3 bcd	4733.3 bcde	4483.3 bc	4025 b c
T12	5.8 ab	10.0 a	110.0 abcd	1187.3 b	3762.3 cd	4100.0 bc	4250.0 bcd	4066.7 b	3533.3 b c
T13	7.6 ab	8.3 a	415.0 abc	1450.0 b	4108.3 d	4508.3 bc	4791.7 bcde	4058.3 b	3783.3 b c
T14	5.8 ab	11.7 a	26.7 a	1310.0 b	2483.3 ab	3741.7 b	4100.0 bcd	3933.3 b	3283.3 b c
T15	8.8 b	19.3 a	567 e	1795.0 b	4816.7 e	5133.3 cd	5208.3 def	4833.3 bcd	4083.3 b c
T16	4.2 ab	7.1 a	530. cd	4033.3 d	5650.0 f	5983.3 d	6025 f	5816.7 d	4708.3 c
T17	5.0 ab	13.6 a	66.7	210.7 a	d 4716.7 e	5058.3 cd	4933.3 bcdef	4666.7 bc	3350.0 b c
T18	7.5 ab	10 a	583 cd	1735 b	4350 d e	5016.7 bcd	5133.3 bcdef	4841.7 bcd	4000 b c
TESTIGO	5 ab	5 a	95 a	1637.5 b	2300 a	2475 a	2487.5 a	1850 a	1425 a

## ANEXO 9 PROPIEDADES QUÍMICAS

### Anexo 9.1: Método seguido para determinar el porcentaje de grupos acetilos

Para determinar el porcentaje de grupos acetilos, se pesaron 5 g de almidón (base seca) y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se adicionaron 50 mL de agua destilada, unas gotas de fenolftaleína y se neutralizó con NaOH 0.1 N hasta que se mantuvo permanente un color ligeramente rosado. Se adicionaron 25 mL de NaOH 0.45 N y se agitó vigorosamente la suspensión con un agitador magnético durante 30 min. Transcurrido el tiempo, la muestra saponificada se valorará con HCl 0.2 N usando fenolftaleína como indicador. Se valoró al mismo tiempo un blanco usando el almidón nativo.

El porcentaje de grupos acetilos representa el porcentaje en peso de grupos acetyl en el almidón en base seca y se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de acetyl} \\ & = \frac{(\text{mL blanco}) - (\text{mL de muestra}) \times N \text{ del HCl} \times 0.043}{\text{gr de muestra (base seca)}} \times 100 \end{aligned}$$

Donde: 0.043 = miliequivalente del grupo acetyl

## ANEXO 6

**Anexo 6.1:** Valores de la sinéresis del almidón modificado en diferentes días de evaluación.

Tiramientos	Días de evaluación														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.51	0.64	0.62	1.04	1.23
T2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	0.36	0.51	0.59	0.97	1.09
T3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41	0.51	0.62	0.86	0.98
T7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.36	0.76
T8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.22	0.34	0.61
T9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	0.88	1.19
T13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	0.16	0.34	0.58	0.74
T14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T17	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.48	0.92	1.05	1.14	1.23	1.74	1.62
T18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28	0.56	0.84	1.08	1.15
<b>Promedio agua desprendida por almidones acetilados</b>								0.0267	0.0267	0.095	0.155	0.2033	0.28667	0.4361	0.5206
<b>Testigo</b>	-	-	-	-	0.46	0.86	1.58	3.86	4.09	9.81	14.11	15	17.67	23.14	23.25
<b>QP</b>	-	-	7.83	7.28	6.92	6.51	6.36	6.36	5.07	2.24	-	-	-	-	-

## ANEXO 7

**Anexo 7.1: Valores de la estabilidad a la congelación – descongelación de los geles de almidón modificado, en función de la viscosidad.**

Tratamientos	RPM	Viscosidad (cP)		
		Día 02	Día 04	Día 06
T1	60	2150	2850	2650
T2	60	4200	3800	4025
T3	60	2150	3000	2550
T4	60	3650	3900	3700
T5	60	4400	4450	4200
T6	60	3000	3200	2700
T7	60	3500	3000	2850
T8	60	4600	3800	4450
T9	60	4950	5400	5100
T10	60	5350	5450	5200
T11	60	3500	3750	3500
T12	60	3850	4000	3700
T13	60	5475	5450	5550
T14	60	4075	4350	4200
T15	60	5675	5650	5650
T16	60	5500	5650	5550
T17	60	4150	3600	3800
T18	60	4600	4100	4050
A. Nat	60	1350	1200	950
A. QP	60	70	60	25

A.Nat: Almidón nativo

A.QP: Almidón químicamente puro

## ANEXO 8

**Anexo 8.1:** Valores de la capacidad de la retención de agua en función del agua liberada.

Tratamientos	Almidón (gr)	Carne (gr)	Vol. Inicial (mL)	Vol. final (mL)	Vol. perdido (mL)	Agua perdida (%)
T1	0.2	2	4	3.10	0.90	22.50
T2	0.2	2	4	3.60	0.40	10.00
T3	0.2	2	4	3.10	0.90	22.50
T4	0.2	2	4	3.15	0.85	21.25
T5	0.2	2	4	3.80	0.20	5.00
T6	0.2	2	4	3.00	1.00	25.00
T7	0.2	2	4	2.80	1.20	30.00
T8	0.2	2	4	3.20	0.80	20.00
T9	0.2	2	4	2.85	1.15	28.75
T10	0.2	2	4	3.20	0.80	20.00
T11	0.2	2	4	3.05	0.95	23.75
T12	0.2	2	4	3.50	0.50	12.50
T13	0.2	2	4	3.48	0.52	13.00
T14	0.2	2	4	3.11	0.89	22.25
T15	0.2	2	4	2.90	1.10	27.50
T16	0.2	2	4	3.68	0.32	8.00
T17	0.2	2	4	3.00	1.00	25.00
T18	0.2	2	4	3.50	0.5	12.5
Testigo 1	0.2	2	4	2.75	1.25	31.25
Testigo 2	-	2	4	1.20	2.8	70

**Anexo 9.2: Método utilizado para determinar del grado de sustitución en la  
reacción de acetilación**

El Grado de Sustitución (GS) es el número promedio de grupos hidroxilos reemplazados por unidad de glucosa y se calculó como se indica a continuación:

$$\text{Grado de Sustitución} = \frac{162 \times \% \text{ Acetil}}{4300 - (42 \times \% \text{ acetil})}$$

Dónde:

162 = peso molecular de la unidad de anhidro glucosa

4300 = 100 x peso molecular de grupo acetil

42 = peso molecular del grupo acetil - 1

## ANEXO 10

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RENDIMIENTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE ALMIDONES ACETILADOS, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES)

**Anexo 10.1:** Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: rendimiento de almidón nativo

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	774.324(a)	17	45.548	2.237	.021
Intersección	334341.220	1	334341.2	16421.6	.000
tratamiento	774.324	17	45.548	2.237	.021
Error	732.953	36	20.360		
Total	335848.498	54			
Total corregida	1507.277	53			

a R cuadrado = .514 (R cuadrado corregida = .284)

**Anexo 10.2:** Prueba de Tukey aplicadas al rendimiento de los diferentes tratamientos, según factores (variable independiente)

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	70.1503	x	
A2	10.5%	77.7009	x	
A3	11%	70.4444	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	76.6	x	
B2	30min	77.6861	x	
B3	40min	80.1056	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	77.4148	x	
C2	40°C	70.0463	x	

**Anexo 10.3:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de tukey aplicadas al rendimiento de almidón modificado, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
T1	3	69.0000	
T13	3	69.0000	
T3	3	77.8000	77.8000
T12	3	77.8000	77.8000
T15	3	77.8000	77.8000
T9	3	78.0000	78.0000
T10	3	79.0000	79.0000
T11	3	79.3333	79.3333
T14	3	79.3333	79.3333
T2	3	79.6667	79.6667
T8	3	79.8333	79.8333
T4	3	79.8500	79.8500
T18	3	79.8667	79.8667
T6	3	80.6000	80.6000
T17	3	81.0000	81.0000
T5	3	82.0333	82.0333
T7	3	82.7667	82.7667
T16	3		83.6667
Significación		.052	.974

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 20.360.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

## ANEXO 11

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TIEMPO DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES)

**Anexo 11.1:** Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: tiempo de gelatinización

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	175.111(a)	17	10.301	10.112	.000
Intersección	15361.823	1	15361.823	15079.940	.000
tratamiento	175.111	17	10.301	10.112	.000
Error	36.673	36	1.019		
Total	15573.607	54			
Total corregida	211.784	53			

a R cuadrado = .827 (R cuadrado corregida = .745)

**Anexo 11.2:** Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicado al tiempo de gelatinización, según factores (variable independiente)

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	17.5822	x	
A2	10.5%	16.63	x	
A3	11%	16.3872	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	16,0461	x	
B2	30min	16.1789		x
B3	40min	18.3744		x
Temperatura de modificación				
C1	20°C	16.6963	x	
C2	40°C	17.0367	x	

**Anexo 11.3:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas al tiempo de gelatinización, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto							
	1	2	3	4	5	6	7	1	
T5.	3	14.6300							
T16	3	14.6367							
T10	3	14.7367							
T3	3	15.0200	15.0200						
T15	3	15.7200	15.7200	15.7200					
T17	3	15.7533	15.7533	15.7533					
T11	3	15.8467	15.8467	15.8467					
T18	3	15.9467	15.9467	15.9467					
T7.	3	16.3000	16.3000	16.3000	16.3000				
T6	3	16.8500	16.8500	16.8500	16.8500	16.8500			
T8	3	16.9400	16.9400	16.9400	16.9400	16.9400	16.9400		
T14	3	16.9500	16.9500	16.9500	16.9500	16.9500	16.9500		
T9	3		17.9100	17.9100	17.9100	17.9100	17.9100	17.9100	
T12	3		18.0467	18.0467	18.0467	18.0467	18.0467	18.0467	
T4	3				18.2533	18.2533	18.2533	18.2533	18.2533
T13	3				19.3167	19.3167	19.3167	19.3167	19.3167
T1	3					19.7700	19.7700	19.7700	19.7700
T2	3						20.9700	20.9700	20.9700
Testigo	3								21.1100
Significación		.342	.056	.213	.057	.076	.050	.092	

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = .990.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000b

Alfa = 0.05

**ANEXO 12**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES)**

**Anexo 12.1:** Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	68.426(a)	17	4.025	1.819	.065
Intersección	183983.407	1	183983.407	83138.946	.000
TRATAMIENTO	68.426	17	4.025	1.819	.065
Error	79.667	36	2.213		
Total	184131.500	54			
Total corregida	148.093	53			

a R cuadrado = .462 (R cuadrado corregida = .208)

**Anexo 12.2:** Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicado al tiempo de gelatinización, según factores (variable independiente)

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	58.0556	x	
A2	10.5%	58.0556	x	
A3	11%	58.8611	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	59.222	x	
B2	30min	57.9722	x	x
B3	40min	57.9167		x
Temperatura de modificación				
C1	20°C	58.0556	x	
C2	40°C	58.6852	x	

**Anexo 12.3:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la temperatura de gelatinización, según los tratamientos estudiados.

DHS de Tukey

Clave	Tratamientos	N	Subconjunto
		1	1
T15	11%A.A; 30MIN; 20°C	3	57.0000
T18	11%A.A; 40MIN; 40°C	3	57.1667
T17	11%A.A; 40MIN; 20°C	3	57.3333
T7	10.5%A.A; 20MIN; 20°C	3	57.5000
T8	10.5%A.A; 20MIN; 40°C	3	57.6667
T11	10.5%A.A; 40MIN; 20°C	3	57.6667
T16	11%A.A; 30MIN; 40°C	3	57.6667
T5	10%A.A; 40MIN; 20°C	3	57.8333
T10	10.5%A.A; 30MIN; 40°C	3	57.8333
T6	10%A.A; 40MIN; 40°C	3	58.1667
T3	10%A.A; 30MIN; 20°C	3	58.3333
T9	10.5%A.A; 30MIN; 20°C	3	58.3333
T4	10%A.A; 30MIN; 40°C	3	58.6667
T1	10% AA; 20MIN; 20°C	3	58.8333
T19	TESTIGO	3	59.0000
T12	10.5%A.A; 40MIN; 40°C	3	59.3333
T13	11%A.A; 20MIN; 20°C	3	59.6667
T14	11%A.A; 20MIN; 40°C	3	60.3333
T2	10%AA; 20MIN; 40°C	3	61.3333
Significación			.066

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 2.110.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

### ANEXO 13

## RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VISCOSIDAD DEL ALMIDÓN MODIFICADO, EMPLEANDO PAQUETES ESTADÍSTICOS SPSS 15.0 (STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES)

**Anexo 13.1:** Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

#### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: viscosidad 50°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	118.458(a)	17	6.968	2.534	.009
Intersección	1751.042	1	1751.042	636.742	.000
Tratamiento	118.458	17	6.968	2.534	.009
Error	99.000	36	2.750		
Total	1968.500	54			
Total corregida	217.458	53			

a R cuadrado = .545 (R cuadrado corregida = .330)

**Anexo 13.2:** Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 50°C, según factores (variable independiente)

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	4.7778	x	
A2	10.5%	5.8333	x	x
A3	11%	6.4722		x
Tiempo de modificación				
B1	20min	5.375	x	
B2	30min	5.833	x	
B3	40min	5.875	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	5.9722	x	
C2	40°C	5.4166	x	

**Anexo 13.3:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 50°C, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
T7	3	3.4167	
T11	3	3.5833	
T10	3	4.1667	4.1667
T16	3	4.1667	4.1667
T2	3	4.5833	4.5833
T4	3	4.5833	4.5833
T1	3	5.0000	5.0000
T17	3	5.0000	5.0000
Testigo	3	5.0000	5.0000
T8	3	5.8333	5.8333
T9	3	5.8333	5.8333
T12	3	5.8333	5.8333
T14	3	5.8333	5.8333
T6	3	6.2500	6.2500
T5	3	7.0833	7.0833
T3	3	7.5000	7.5000
T18	3	7.5000	7.5000
T13	3	7.5833	7.5833
T15	3		8.7500
Significación		.196	.100

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 2.605.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.4: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 55°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	2044.917(a)	17	120.289	5.257	.000
Intersección	7526.042	1	7526.042	328.891	.000
Tratamiento	2044.917	17	120.289	5.257	.000
Error	823.792	36	22.883		
Total	10394.750	54			
Total corregida	2868.708	53			

a R cuadrado = .713 (R cuadrado corregida = .577)

**Anexo 13.5: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 55°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	14.0972	x	
A2	10.5%	10.0278	x	
A3	11%	11.2917	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	9.23611	x	
B2	30min	11.7361	x	
B3	40min	14.444	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	14.0462	x	
C2	40°C	9.5648		x

**Anexo 13.6:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 55°C, según los tratamientos estudiados.

DHS de Tukey

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
Testigo	3	5.0000	
T16	3	7.0833	
T9	3	7.2500	
T4	3	7.5000	
T2	3	7.9167	
T13	3	8.3333	
T1	3	9.1667	
T6	3	9.1667	
T7	3	9.1667	
T8	3	9.1667	
T12	3	10.0000	
T18	3	10.0000	
T11	3	11.0000	
T14	3	11.6667	
T10	3	13.5833	
T17	3	13.5833	
T5	3	16.6667	
T15	3	17.0833	
T3	3		34.1667
Significación		.189	1.000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 21.679.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.7: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 60°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	9158841.235(a)	17	538755.367	30.301	.000
Intersección	15274572.445	1	15274572.445	859.086	.000
Tratamiento	9158841.235	17	538755.367	30.301	.000
Error	640081.260	36	17780.035		
Total	25073494.940	54			
Total corregida	9798922.495	53			

a R cuadrado = .935 (R cuadrado corregida = .904)

**Anexo 13.8: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 60°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	679.628	x	
A2	10.5%	385.128	x	
A3	11%	531.389	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	336.389	x	
B2	30min	658.739	x	
B3	40min	600.417	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	654.722	x	
C2	40°C	408.974		x

**Anexo 13.9:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 60°C, según los tratamientos estudiados

Tratamientos	N	Subconjunto								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
T14	3	26.6667								
T17	3	66.6667								
Testigo	3	95.0000	95.0000							
T12	3	110.0000	110.0000							
T7	3	135.0000	135.0000	135.0000						
T2	3	160.0000	160.0000	160.0000						
T4	3	217.5000	217.5000	217.5000	217.5000					
T10	3	278.2667	278.2667	278.2667	278.2667	278.2667				
T13	3	415.0000	415.0000	415.0000	415.0000	415.0000	415.0000			
T8	3		475.0000	475.0000	475.0000	475.0000	475.0000			
T16	3			530.0000	530.0000	530.0000	530.0000	530.0000		
T18	3				583.3333	583.3333	583.3333	583.3333		
T11	3					650.0000	650.0000	650.0000		
T9	3					662.5000	662.5000	662.5000		
T3	3						697.5000	697.5000		
T1	3						806.6667	806.6667		
T5	3							892.5000		
T6	3									1300.0000
T15	3									1566.6667
Significación		.065	.078	.055	.106	.071	.060	.114		.557

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 16845.559.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.00      b Alfa = .05.

**Anexo 13.10:** Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 65°

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	54742650.333(a)	17	3220155.902	80.940	.000
Intersección	222686968.167	1	222686968.167	5597.308	.000
Tratamiento	54742650.333	17	3220155.902	80.940	.000
Error	1432247.500	36	39784.653		
Total	278861866.000	54			
Total corregida	56174897.833	53			

a R cuadrado = .975 (R cuadrado corregida = .962)

**Anexo 13.11:** Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 65°C, según factores (variable independiente)

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	2243.89	x	
A2	10.5%	2092.61	x	
A3	11%	1755.67	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	1656.17	x	
B2	30min	2203.75	x	
B3	40min	1656.47	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	1474.52	x	
C2	40°C	2586.93		x

**Anexo 13.12:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 65°C, según los tratamientos estudiados.

DHS de Tukey

Tratamientos	N	Subconjunto					
	1	2	3	4	5	6	7
T17	3	210.6667					
T3	3		1182.5000				
T12	3		1187.3333				
T14	3		1310.0000	1310.0000			
T13	3		1450.0000	1450.0000	1450.0000		
T5	3		1547.5000	1547.5000	1547.5000		
T1	3		1566.6667	1566.6667	1566.6667		
T9	3		1670.0000	1670.0000	1670.0000		
T4	3		1691.6667	1691.6667	1691.6667		
Testigo	3		1704.1667	1704.1667	1704.1667		
T18	3		1735.0000	1735.0000	1735.0000		
T15	3			1795.0000	1795.0000		
T7	3				1915.0000		
T11	3				1933.3333		
T10	3					2850.0000	
T8	3					3000.0000	
T6	3					3325.0000	
T16	3						4033.3333
T2	3						4150.0000
Significación		1.000	.102	.245	.250	.275	1.000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 38071.754.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.13: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 70°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	27798875.426(a)	17	1635227.966	42.710	.000
Intersección	920238528.908	1	920238528.908	24035.681	.000
Tratamientos	27798875.426	17	1635227.966	42.710	.000
Error	1378308.667	36	38286.352		
Total	949415713.000	54			
Total corregida	29177184.093	53			

a R cuadrado = .953 (R cuadrado corregida = .930)

**Anexo 13.14: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 70°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	2243.89	x	
A2	10.5%	2092.61	x	
A3	11%	1755.67	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	1656.17	x	
B2	30min	2203.75	x	
B3	40min	1656.47	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	1474.52	x	
C2	40°C	2586.93		x

**Anexo 13.15:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 70°C, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Testigo	3	2300.0000													
T14	3	2483.3333	2483.3333												
T1	3		2966.6667	2966.6667											
T5	3				3375.0000										
T9	3				3600.0000	3600.0000									
T12	3				3762.3333	3762.3333	3762.3333								
T4	3				3862.3333	3862.3333	3862.3333	3862.3333							
T8	3					4100.0000	4100.0000	4100.0000							
T13	3					4108.3333	4108.3333	4108.3333							
T3	3					4150.0000	4150.0000	4150.0000	4150.0000						
T11	3					4166.6667	4166.6667	4166.6667	4166.6667	4166.6667					
T10	3							4266.6667	4266.6667	4266.6667	4266.6667	4266.6667			
T6	3							4325.0000	4325.0000	4325.0000	4325.0000	4325.0000			
T18	3								4350.0000	4350.0000	4350.0000	4350.0000			
T17	3									4716.6667	4716.6667	4716.6667			
T7	3											4766.6667			
T15	3												4816.6667		
T2	3													4840.0000	
T16	3														5650.0000
Significación		.999	.217	.484	.207	.068	.072	.206	.068	.061					1.000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 36271.281.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.16: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 75°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	19003699.037(a)	17	1117864.649	6.641	.000
Intersección	1154973503.130	1	1154973503.130	6861.111	.000
trat	19003699.037	17	1117864.649	6.641	.000
Error	6060104.333	36	168336.231		
Total	1180037306.500	54			
Total corregida	25063803.370	53			

a R cuadrado = .758 (R cuadrado corregida = .644)

**Anexo 13.17: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 75°C, según factores (variable independiente).**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	4429.14	x	
A2	10.5%	4538.19	x	
A3	11%	4906.94	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	4699.97	x	
B2	30min	4600.0	x	
B3	40min	4574.31	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	45655.09	x	
C2	40°C	4594.43	x	

**Anexo 13.18:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 75°C, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
Testigo	3	2475.0000					
T14	3		3741.6667				
T5	3		3800.0000	3800.0000			
T9	3		3983.3333	3983.3333	3983.3333		
T4	3		4000.0000	4000.0000	4000.0000		
T12	3		4100.0000	4100.0000	4100.0000		
T10	3		4225.0000	4225.0000	4225.0000		
T3	3		4275.0000	4275.0000	4275.0000		
T13	3		4508.3333	4508.3333	4508.3333	4508.3333	
T8	3		4583.3333	4583.3333	4583.3333	4583.3333	
T6	3		4662.5000	4662.5000	4662.5000	4662.5000	
T1	3		4800.0000	4800.0000	4800.0000	4800.0000	4800.0000
T11	3		4808.3333	4808.3333	4808.3333	4808.3333	4808.3333
T18	3			5016.6667	5016.6667	5016.6667	5016.6667
T2	3				5037.3333	5037.3333	5037.3333
T17	3				5058.3333	5058.3333	5058.3333
T15	3				5133.3333	5133.3333	5133.3333
T7	3					5529.1667	5529.1667
T16	3						5983.3333
Significación		1.000	.157	.055	.089	.208	.070

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 159476.430.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.19: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 80°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	17183009.259(a)	17	1010765.251	6.308	.000
Intersección	1216001157.408	1	1216001157.408	7589.028	.000
Tratamientos	17183009.259	17	1010765.251	6.308	.000
Error	5768333.333	36	160231.481		
Total	1238952500.000	54			
Total corregida	22951342.593	53			

a R cuadrado = .749 (R cuadrado corregida = .630)

**Anexo 13.20: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 80°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	4513.89	x	
A2	10.5%	4690.28	x	x
A3	11%	5031.94		x
Tiempo de modificación				
B1	20min	4904.17	x	
B2	30min	4701.39	x	
B3	40min	4630.56	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	4723.15	x	
C2	40°C	4767.59	x	

**Anexo 13.21:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 80°C, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
T5	3	3950.0000			
T4	3	4008.3333	4008.3333		
T9	3	4058.3333	4058.3333		
T14	3	4100.0000	4100.0000		
T3	3	4250.0000	4250.0000		
T12	3	4250.0000	4250.0000		
T10	3	4658.3333	4658.3333	4658.3333	
T11	3	4733.3333	4733.3333	4733.3333	
T8	3	4750.0000	4750.0000	4750.0000	
T6	3	4783.3333	4783.3333	4783.3333	
T13	3	4791.6667	4791.6667	4791.6667	
T1	3	4891.6667	4891.6667	4891.6667	4891.6667
T17	3	4933.3333	4933.3333	4933.3333	4933.3333
T18	3	5133.3333	5133.3333	5133.3333	5133.3333
T2	3		5200.0000	5200.0000	5200.0000
T15	3		5208.3333	5208.3333	5208.3333
T7	3			5691.6667	5691.6667
T16	3				6025.0000
Significación		.068	.060	.185	.097

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 160231.481.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.22: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 85°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	14857146.315(a)	17	873949.783	6.636	.000
Intersección	1067102266.686	1	1067102266.686	8102.649	.000
tratamientos	14857146.315	17	873949.783	6.636	.000
Error	4741126.000	36	131697.944		
Total	1086700539.000	54			
Total corregida	19598272.315	53			

a R cuadrado = .758 (R cuadrado corregida = .644)

**Anexo 13.23: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 85°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	4213.89	x	
A2	10.5%	4430.5	x	x
A3	11%	4691.67		x
Tiempo de modificación				
B1	20min	4297.83	x	
B2	30min	4415.28	x	
B3	40min	4622.94	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	4451.37	x	
C2	40°C	4439.33	x	

**Anexo 13.24:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 85°C, según los tratamientos estudiados

Tratamientos	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Testigo	3	1850.0000			
T4	3		3775.0000		
T8	3		3783.3333		
T14	3		3933.3333		
T1	3		4050.0000		
T13	3		4058.3333		
T12	3		4066.6667		
T5	3		4075.0000		
T9	3		4183.3333		
T6	3		4358.3333	4358.3333	
T3	3		4387.6667	4387.6667	
T11	3		4483.3333	4483.3333	
T2	3		4637.3333	4637.3333	
T17	3		4666.6667	4666.6667	
T10	3		4741.6667	4741.6667	4741.6667
T15	3		4833.3333	4833.3333	4833.3333
T18	3		4841.6667	4841.6667	4841.6667
T7	3			5324.6667	5324.6667
T16	3				5816.6667
Significación		1.000	.060	.132	.055

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 124766.474.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05.

**Anexo 13.25: Análisis de varianza del DCA con arreglo factorial (2A x 3B x 2C)**

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: viscosidad 90°C

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	15160068.981(a)	17	891768.764	2.448	.012
Intersección	728238389.352	1	728238389.352	1998.723	.000
Tratamientos	15160068.981	17	891768.764	2.448	.012
Error	13116666.667	36	364351.852		
Total	756515125.000	54			
Total corregida	28276735.648	53			

a R cuadrado = .536 (R cuadrado corregida = .317)

**Anexo 13.26: Grado de significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas viscosidad a 90°C, según factores (variable independiente)**

Nivel del Factor	Factor	Media LS	Grupos Homogéneos	
Concentración de anhídrido acético				
A1	10%	3320.56	x	
A2	10.5%	3628.33	x	
A3	11%	3868.06	x	
Tiempo de modificación				
B1	20min	3601.11	x	
B2	30min	3711.67	x	
B3	40min	3704.17	x	
Temperatura de modificación				
C1	20°C	3767.59	x	
C2	40°C	3577.04	x	

**Anexo 13.27:** Subconjuntos homogéneos para establecer la significancia utilizando la prueba de Tukey aplicadas a la viscosidad a 90°C, según los tratamientos estudiados.

Tratamientos	N	Subconjunto		
	1	2	3	1
Testigo	3	1425.0000		
T2	3	2590.0000	2590.0000	
T3	3	3000.0000	3000.0000	3000.0000
T4	3	3200.0000	3200.0000	3200.0000
T14	3		3283.3333	3283.3333
T5	3		3350.0000	3350.0000
T17	3		3350.0000	3350.0000
T8	3		3400.0000	3400.0000
T10	3		3511.6667	3511.6667
T12	3		3533.3333	3533.3333
T9	3		3766.6667	3766.6667
T13	3		3783.3333	3783.3333
T1	3		3816.6667	3816.6667
T6	3		3966.6667	3966.6667
T18	3		4000.0000	4000.0000
T11	3		4025.0000	4025.0000
T15	3		4083.3333	4083.3333
T16	3			4708.3333
T7	3			4733.3333
Significación		.059	.215	.073

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 345175.439.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000

b Alfa = .05

## ANEXO 14

### BALANCE DE MATERIA

Anexo 14.1: Balance de materia para la obtención de almidón nativo

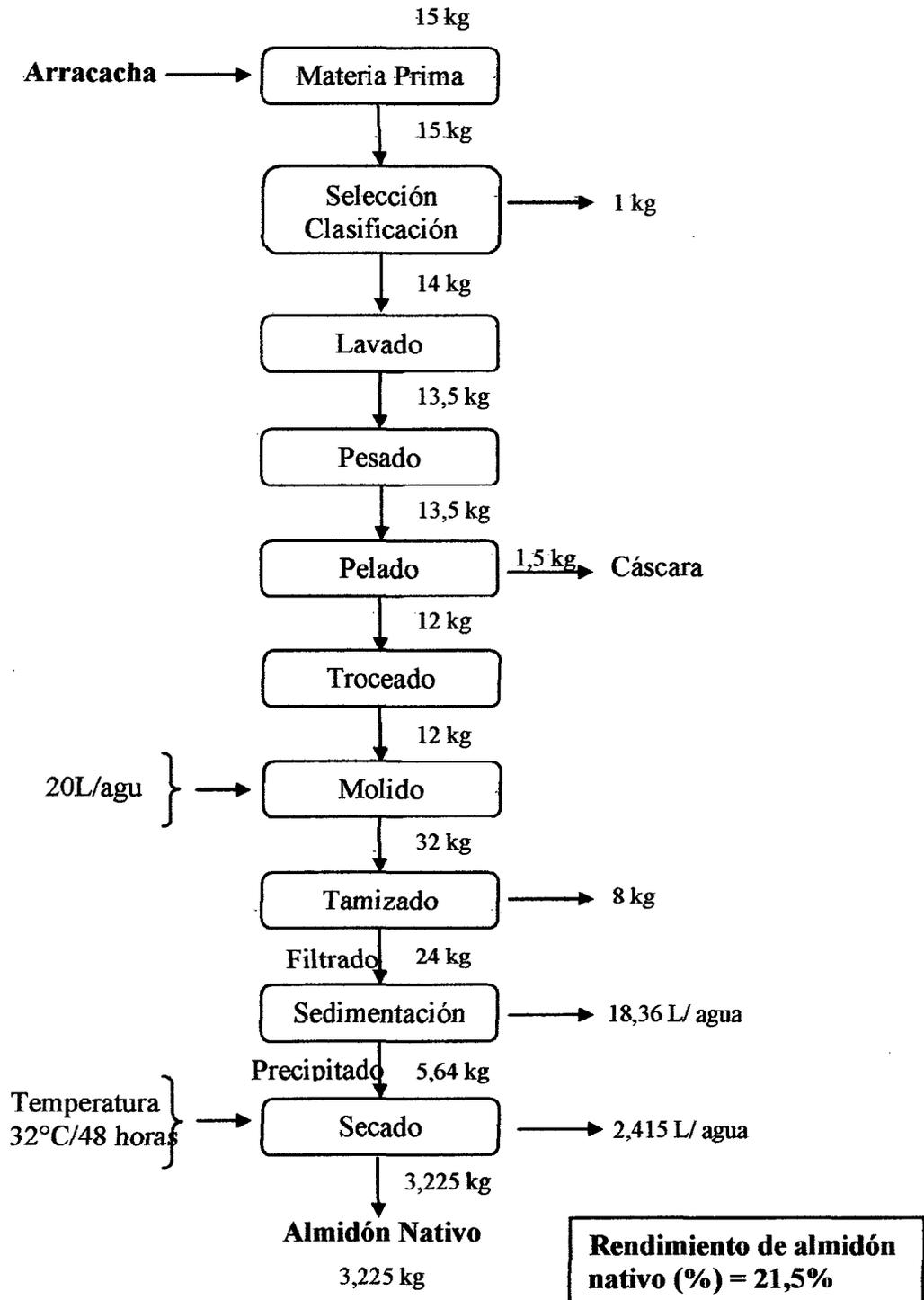


Figura 1: Balance de materia de la obtención de almidón nativo de *Arracacia xanthorriza* "arracacha"

**ANEXO 15**  
**BENEFICIO/COSTO**

**Anexo 15.1:** Beneficio/costo para la obtención de almidón modificado a partir de almidón nativo de *Arracacia xanthorrhiza*

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (s/.)	Subtotal (s/.)
<b>Materia prima</b>				
Almidón nativo	1.080	Kg	4.20	4.60
<b>Reactivos</b>				
Ácido clorhídrico 3% q.p	22.3	mL	0.080	1.80
Agua destilada y/o desionizada	5.4	L	0.20	1.08
Anhídrido acético 3% q.p	113.4	mL	0.0018	0.20
Hidróxido de sodio al 3% q.p	1.72	g	0.30	0.52
<b>Total</b>				<b>8.20</b>

## ANEXO 16

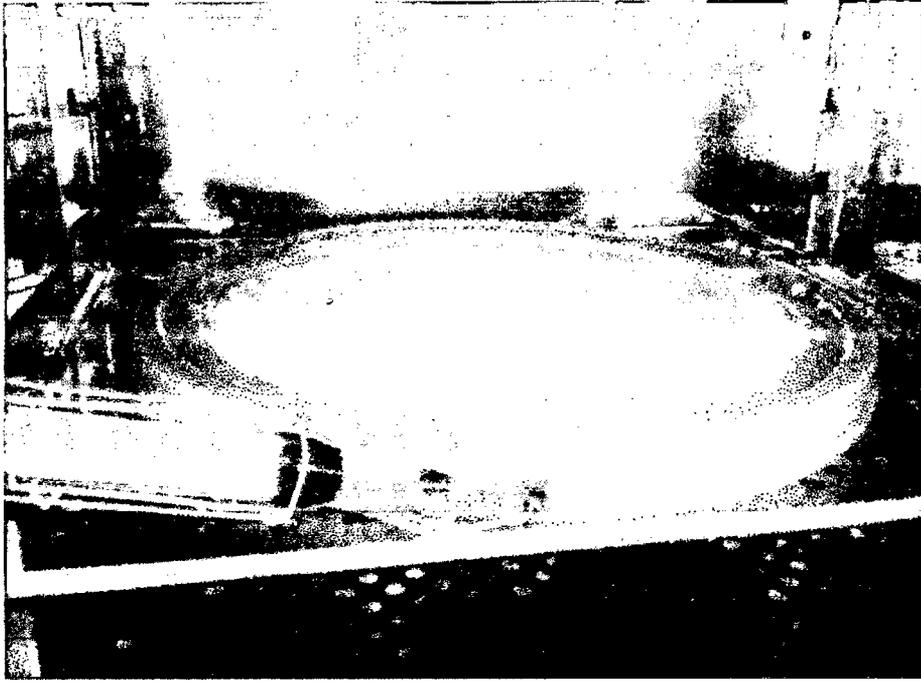
### FOTOS DEL DESARROLLO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN



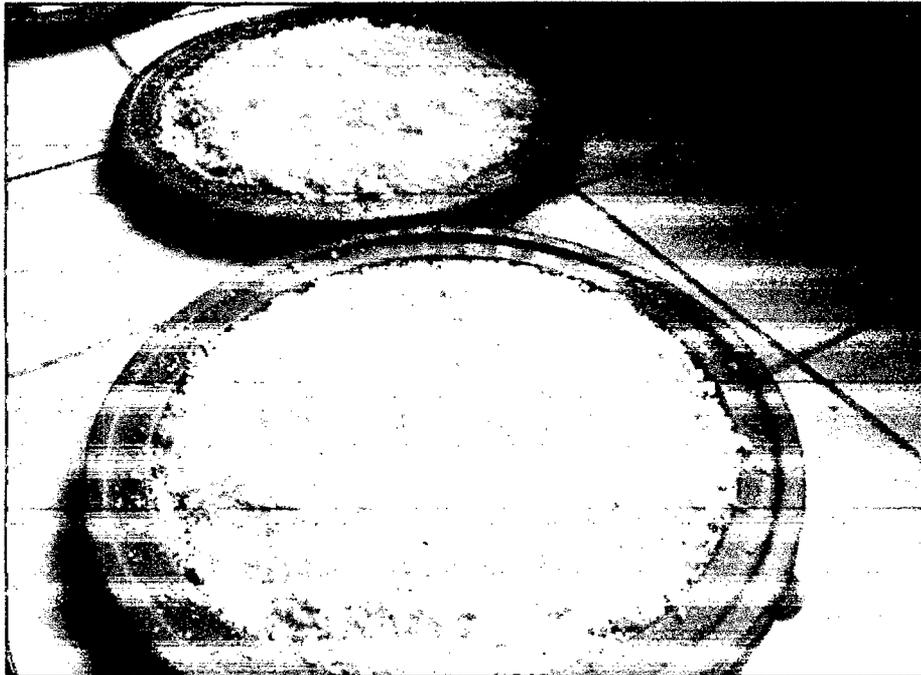
**Foto 16.1:** Acondicionamiento de la *Arracacia xanthorriza* “arracacha” proveniente de la localidad de Yambrasbamba.



**Foto 16.2:** Molido de la *Arracacia xanthorriza* “arracacha” proveniente de la localidad de Yambrasbamba Región Amazonas.



**Foto 16.3:** Secado del almidón nativo *Arracacia xanthorriza* “arracacha”



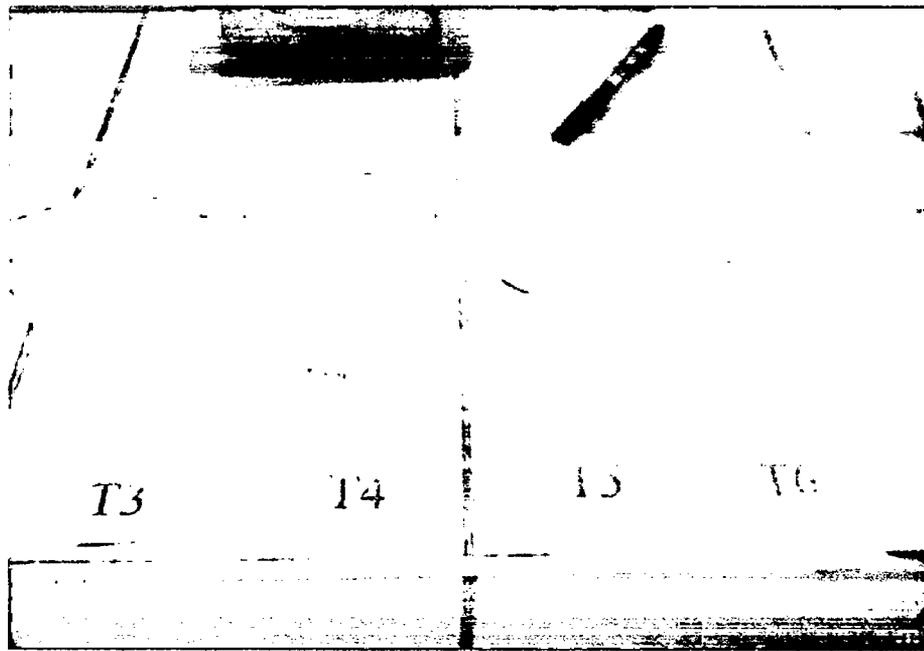
**Foto 16.4:** Almidón nativo de *Arracacia xanthorriza* “arracacha” seco



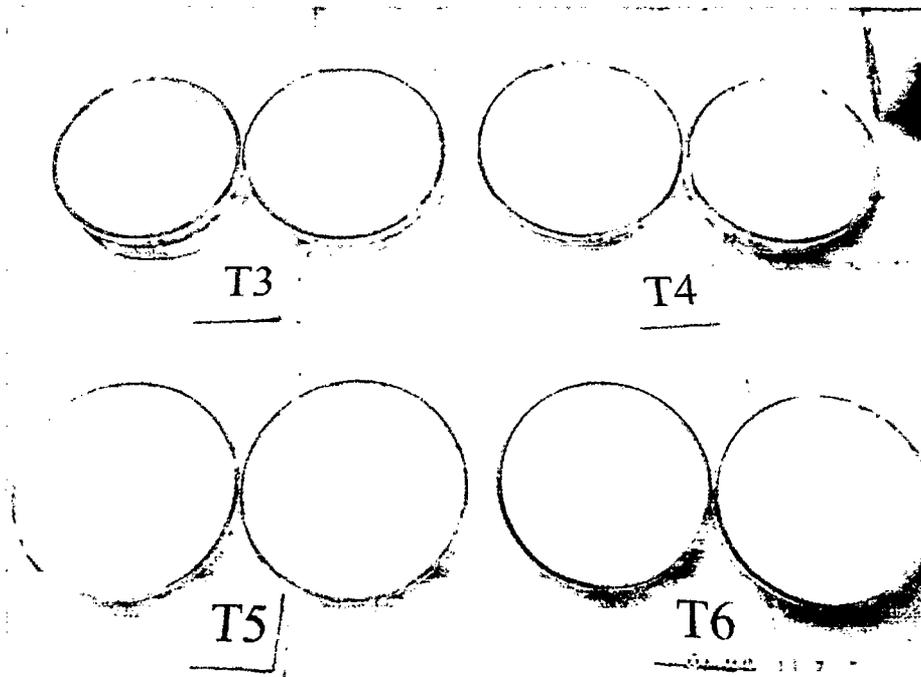
**Foto 16.5:** Acondicionamiento de la dilución de almidón nativo



**Foto 16.6:** acetilación del almidón nativo



**Foto 16.7:** Lavado del almidón acetilado.



**Foto 16.8:** Almidón modificado listo para llevarlo al secado