

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA
MEDIANTE ACETILACIÓN Y OXIDACIÓN, PARA SU APLICACIÓN COMO
EXCIPIENTE EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA A NIVEL LABORATORIO**

**CAROL ALEJANDRA ARENAS RIAÑO
DIANA JULIETH PEDRAZA GUARNIZO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTÁ D.C
2017**

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA
MEDIANTE ACETILACIÓN Y OXIDACIÓN, PARA SU APLICACIÓN COMO
EXCIPIENTE EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA A NIVEL LABORATORIO**

**CAROL ALEJANDRA ARENAS RIAÑO
DIANA JULIETH PEDRAZA GUARNIZO**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTÁ D.C
2017**

Nota de aceptación

Elizabeth Torres Gámez
Presidente del Jurado

Luis Humberto Reyes Barrios
Jurado 1

Luz Briceida Pardo Rojas
Jurado 2

Bogotá D.C, Enero, 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, por permitirnos culminar esta etapa y estar presente en cada uno de nuestros pasos.

A nuestros padres, quienes siempre nos acompañaron y apoyaron durante todo este proceso.

A nuestra orientadora de trabajo de grado, la ingeniera Elizabeth Torres, por su orientación y colaboración durante todo el trayecto.

A Juan Pablo Medina, nuestro asesor en el SENA, quien nos apoyó y orientó durante toda la experimentación realizada.

A Felipe García, por su colaboración en la ejecución de este proyecto

A Gonzalo Díaz, por abrirnos las puertas de su empresa y apoyarnos.

A la Fundación Universidad de América, quienes durante todo el trayecto de la carrera nos dieron las bases necesarias para lograr realizar este proyecto.

A la empresa Comercializadora Nacional de papas R&G S.A.S. quien nos brindó la materia prima para poder realizar la experimentación y análisis del proyecto.

Al SENA Centro de Gestión Industrial, por prestarnos sus instalaciones y equipos para poder ejecutar el proyecto experimentalmente.

Y finalmente, a todas las personas que estuvieron presentes durante la ejecución de este trabajo de grado.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios, quien supo guiarme por el buen camino; darme fuerzas para seguir adelante y no caer sobre los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la fe y la esperanza.

A mis padres Ángel Arenas y Gladys Riaño por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, y mi coraje para conseguir mis propios objetivos.

A la familia Vargas Londoño, por estar ahí desde los inicios de mi carrera; brindándome siempre el mejor apoyo de fortaleza y energía para el alcance de mis sueños y de mis metas.

A mis tíos Oscar Riaños y Martha Zamora, por estar presentes toda mi vida; brindándome siempre su ayuda en la parte emocional y financiera. Gracias a ustedes hoy puedo decir que me he convertido en una gran profesional.

A mi amiga y compañera Julieth Pedraza, por tu ayuda y comprensión desde el inicio del desarrollo del proyecto; fuiste un apoyo incondicional en todos los sentidos. Gracias por ser una excelente persona y colega.

A mis amigos de la universidad, ya que con ustedes se pasaron buenos momentos, y siempre representaron un gran apoyo para mi formación.

Especial dedicatoria para Felipe Vargas, la ayuda que me has brindado ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivador y siempre me decías que lo lograría perfectamente. Me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso. Muchas gracias, amor.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers

Carol Alejandra Arenas Riaño

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme durante este largo camino lleno de adversidades y obstáculos, darme la fuerza para continuar y nunca perder la esperanza y la fé.

A mis padres Albeiro Pedraza y Liliana Guarnizo, por enseñarme el valor de la cosas, brindarme el apoyo necesario para poder cumplir mis sueños y metas, siempre darme ánimo y no permitirme desfallecer, por enseñarme que antes de ser profesional se debe aprender a ser persona, y especialmente por brindarme todo su amor como padres.

A mi hermano Santiago Pedraza, quien siempre me ha acompañado durante este largo trayecto, por darme apoyo y consejos cuando han sido necesarios, ser mi amigo incondicional y brindarme su amor como hermano.

A Mateo Pedraza, mi mascota, por acompañarme durante todas las noches que trasnoche escribiendo este trabajo de grado.

A Felipe García, quien me ha acompañado durante este proceso brindándome su apoyo incondicional, comprensión, paciencia, palabras de aliento, y principalmente su amor.

A la familia Pedraza y Guarnizo por siempre creer en mí y apoyarme en cada tramo de mi carrera.

A la familia García Alvarado, por permitirme hacer parte de ellos, acompañarme durante este proceso y brindarme su apoyo incondicional.

A mi amiga y compañera Carol Arenas, por permitirme compartir con ella esta última etapa de la carrera, estar presente en cada momento, y por haber superado juntas cada obstáculo que se presentó; gracias por ser una excelente amiga y compañera de trabajo.

A todos aquellos amigos y amigas de la universidad, los cuales estuvieron durante todo el trayecto de mi carrera.

“Educar la mente sin educar el corazón, no es educación”. Aristóteles

Diana Julieth Pedraza Guarnizo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	25
OBJETIVOS	26
1. MARCO TEORICO	27
1.1 LA EMPRESA	27
1.1.1 Reseña histórica	27
1.2 ALMIDON	27
1.2.1 Amilosa	28
1.2.2 Amilopectina	29
1.2.3 Fuentes de obtención	29
1.2.4 Aplicaciones	29
1.3 PAPA (Solanum tuberosum)	30
1.3.1 Taxonomía	30
1.3.2 Composición y usos	30
1.4 ALMIDON DE PAPA	31
1.4.1 Proceso de obtención de almidón de papa	31
1.5 PROPIEDADES DEL ALMIDÓN	32
1.6 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	35
1.6.1 Modificaciones físicas	36
1.6.2 Modificaciones enzimáticas	36
1.6.3 Modificaciones químicas	37
1.7 ACETILACIÓN	38
1.8 OXIDACIÓN	39
1.9 ALMIDONES MODIFICADOS EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA	40
1.9.1 Excipiente	40
1.9.2 Forma farmacéutica	41
2. MATERIALES Y METODOS	42
2.1 REACTIVOS	42
2.1.1 Reactivos del proceso de modificación y grado de sustitución del almidon	42
2.2 EQUIPOS	43
2.3 METODOLOGIA	46
2.3.1 Pretratamiento del almidón	46
2.3.1.1 Humedad del almidón nativo	47
2.3.1.2 Contenido de pulpa en el almidón nativo	47
2.3.1.3 Eliminación de humedad e impurezas	48
2.3.2 Modificación del almidón nativo	48
2.3.2.1 Acetilación	48

2.3.2.2	Oxidación	49
2.3.3	Verificación de la modificación de almidón	50
2.3.3.1	Espectrometría de infrarrojo	50
2.3.3.2	Determinación de grado de sustitución	51
2.3.4	Caracterización del almidón	53
2.3.4.1	Caracterización física y química	53
2.3.4.2	Caracterización farmacotécnica	57
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	60
3.1	PRETRATAMIENTO DEL ALMIDÓN	60
3.1.1	Humedad del almidón nativo	60
3.1.2	Contenido de pulpa en el almidón nativo	60
3.1.3	Eliminación de humedad e impurezas	60
3.2	MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	63
3.2.1	Acetilación	63
3.2.2	Oxidación	67
3.3	VERIFICACIÓN DE LA MODIFICACIÓN	71
3.3.1	Espectrometría de infrarrojo	71
3.3.2	Determinación de grado de sustitución	74
3.3.2.1	Acetilación	74
3.3.2.2	Oxidación	74
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN	75
3.4.1	Caracterización física y química	75
3.4.1.1	Temperatura de gelatinización	75
3.4.1.2	Viscosidad	76
3.4.1.3	Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua	77
3.4.1.4	Claridad en las dispersiones	78
3.4.1.5	Estabilidad al congelamiento y descongelamiento	81
3.4.1.6	Sinéresis	82
3.4.1.7	pH	83
3.4.1.8	Solubilidad en agua fría y caliente	84
3.4.1.9	Contenido de humedad	84
3.4.2	Caracterización farmacotécnica	85
3.4.2.1	Forma de partículas	85
3.4.2.2	Tamaño de partículas	86
3.4.2.3	Densidad aparente y apisonada	86
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	89
4.1	PRETRATAMIENTO DEL ALMIDÓN	89
4.1.1	Humedad del almidón nativo	89
4.1.2	Contenido de pulpa en el almidón nativo	89
4.1.3	Eliminación de humedad e impurezas	89
4.2	MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	90
4.2.1	Acetilación	90

4.2.2	Oxidación	90
4.3	VERIFICACIÓN DE LA MODIFICACIÓN	91
4.3.1	Espectrometría de infrarrojo	91
4.3.2	Grado de sustitución	92
4.3.2.1	Acetilación	92
4.3.2.2	Oxidación	93
4.4	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN	95
4.4.1	Caracterización física y química	95
4.4.1.1	Temperatura de gelatinización	95
4.4.1.2	Viscosidad	96
4.4.1.3	Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua	98
4.4.1.4	Claridad en las dispersiones	100
4.4.1.5	Estabilidad al congelamiento y descongelamiento	103
4.4.1.6	Sinéresis	104
4.4.1.7	pH	105
4.4.1.8	Solubilidad en agua fría y agua caliente	106
4.4.1.9	Contenido de humedad.	107
4.4.2	Caracterización farmacotécnica.	108
4.4.2.1	Forma de partículas	108
4.4.2.2	Tamaño de partículas	108
4.4.2.3	Densidad aparente y apisonada	109
5.	CONCLUSIONES	113
6.	RECOMENDACIONES	114
	BIBLIOGRAFÍA	115
	ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resultados del porcentaje de humedad del almidón nativo	60
Tabla 2. Resultados del porcentaje de pulpa del almidón nativo	60
Tabla 3. Resultados balance de materia	62
Tabla 4. Resultados de pérdidas y rendimiento	62
Tabla 5. Resultados balance de materia acetilación en entradas	66
Tabla 6. Resultados balance de materia acetilación en salidas	66
Tabla 7. Porcentaje de pérdidas por etapas en acetilación	67
Tabla 8. Porcentaje de conversión del	67
Tabla 9. Resultados balance de materia oxidación en entradas	70
Tabla 10. Resultados balance de materia oxidación en salidas	70
Tabla 11. Porcentaje de pérdidas por etapas en oxidación	71
Tabla 12. Porcentaje de conversión y exceso del almidón nativo en oxidación	71
Tabla 13. Resultados porcentaje de acetilos para acetilación	74
Tabla 14. Resultados grado de sustitución para acetilación	74
Tabla 15. Resultados porcentaje grupos carboxilo (GS) de oxidación	75
Tabla 16. Resultados porcentaje grupos carbonilo (GS) de oxidación	75
Tabla 17. Resultados de temperatura de gelatinización para almidón nativo y almidones modificados	76
Tabla 18. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 2 min ⁻¹ para almidón nativo y almidones modificados	76
Tabla 19. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 4 min ⁻¹ para almidón nativo y almidones modificados	76
Tabla 20. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 10 min ⁻¹ para almidón nativo y almidones modificados	77
Tabla 21. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 20 min ⁻¹ para almidón nativo y almidones modificados	77
Tabla 22. Resultados del poder de hinchamiento para almidón nativo y almidones modificados	77
Tabla 23. Resultados de solubilidad en agua para almidón nativo y almidones modificados	78
Tabla 24. Resultados de absorción de agua para almidón nativo y almidones modificados	78
Tabla 25. Resultados de porcentaje de transmitancia a 4°C durante 0 horas para almidón nativo y almidones modificados	78
Tabla 26. Resultados de transmitancia a 25°C durante 0 horas para almidón nativo y almidones modificados	79
Tabla 27. Resultados de transmitancia a 4°C durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados	79

Tabla 28. Resultados de transmitancia a 25°C durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados	79
Tabla 29. Resultados de transmitancia a 4°C durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados	80
Tabla 30. Resultados de transmitancia a 25°C durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados	80
Tabla 31. Resultados de transmitancia a 4°C durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados	80
Tabla 32. Resultados de transmitancia a 25°C durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados	81
Tabla 33. Resultados de porcentaje de agua separada para almidón nativo y almidones modificados	81
Tabla 34. Resultados de sinéresis durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados	82
Tabla 35. Resultados de sinéresis durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados	82
Tabla 36. Resultados de sinéresis durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados	83
Tabla 37. Resultados de sinéresis durante 96 horas para almidón nativo y almidones modificados	83
Tabla 38. Resultados de pH para almidón nativo y almidones modificados	84
Tabla 39. Resultados de porcentaje de solubilidad a 30°C para almidón nativo y almidones modificados	84
Tabla 40. Resultados de porcentaje de solubilidad a 70°C para almidón nativo y almidones modificados	84
Tabla 41. Resultados de contenido de humedad para almidón nativo y almidones modificados	85
Tabla 42. Resultados de tamaño de partícula del almidón nativo y los almidones modificados	86
Tabla 43. Resultados densidad aparente del almidón nativo y almidones modificados	87
Tabla 44. Resultados densidad apisonada del almidón nativo y almidones modificados	87
Tabla 45. Resultados de Voluminosidad aparente para almidón nativo y modificado	88
Tabla 46. Resultados de Voluminosidad apisonada para almidón nativo y modificado	88
Tabla 47. Resultados del Índice de Carr para almidón nativo y almidones modificados	88
Tabla 48. Resultados del Índice de Hausner para almidón nativo y almidones modificados	89

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Microfotografías de gránulos de almidón de diferentes fuentes vegetales	27
Figura 2. Estructura química de la amilosa	27
Figura 3. Estructura química de la amilopectina	28
Figura 4. Procesos de separación para la obtención de almidón de papa	30
Figura 5. Forma de partícula de materiales granulados	33
Figura 6. Tipos de modificaciones de los almidones	35
Figura 7. Reacción de acetilación	37
Figura 8. Sustitución de grupos OH-	38
Figura 9. Grupos hidroxilos (OH) en las posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de una unidad α -D-glucopiranosil	39
Figura 10. Diagrama del balance de materia eliminación de humedad e impurezas	61
Figura 11. Diagrama del balance de materia acetilación	63
Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de acetilación	65
Figura 13. Diagrama balance de materia oxidación	68
Figura 14. Diagrama de flujo de proceso de oxidación	69
Figura 15. Espectro IR ensayo 1 acetilación	72
Figura 16. Espectro IR ensayo 2 acetilación	72
Figura 17. Espectro IR ensayo 3 oxidación	73
Figura 18. Espectro IR ensayo 4 oxidación	73

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Efecto de la adición de anhídrido acético sobre el grado de sustitución	93
Gráfica 2. Efecto de la concentración de NaOCl sobre el porcentaje de carboxilos	95
Gráfica 3. Efecto de la concentración de NaOCl sobre el porcentaje de carbonilos	95
Gráfica 4. Temperatura de Gelatinización para el almidón nativo y almidones modificados	97
Gráfica 5. Viscosidad para el almidón nativo y almidones modificados	98
Gráfica 6. Poder de hinchamiento para almidón nativo y almidones modificados	99
Gráfica 7. Índice de absorción de agua (g gel/ g almidón) para almidón nativo y almidones modificados	100
Gráfica 8. Índice de solubilidad en agua (%) para almidón nativo y almidones modificados	100
Gráfica 9. Porcentaje de transmitancia a 4°C durante 0, 24, 48 y 72 horas para almidón nativo y almidones modificados	102
Gráfica 10. Porcentaje de transmitancia a 25°C durante 0, 24, 48 y 72 horas para almidón nativo y almidones modificados	102
Gráfica 11. Claridad (%Transmitancia) del almidón nativo y modificados antes de almacenamiento (0 horas)	103
Gráfica 12. Porcentaje de agua separada para almidón nativo y almidones modificados	104
Gráfica 13. Sinéresis (% Agua liberada) del almidón nativo y modificado a 24, 48, 72 y 96 horas	105
Gráfica 14. pH para almidón nativo y almidones modificados	106
Gráfica 15. Porcentaje de solubilidad para el almidón nativo y modificado a 30°C con respecto al grado de sustitución	107
Gráfica 16. Porcentaje de solubilidad para el almidón nativo y modificado a 70°C con respecto al grado de sustitución	107
Gráfica 17. Porcentaje de humedad de almidón nativo y almidones modificados	108
Gráfica 18. Tamaño de partícula (μm) para almidón nativo y almidones modificados	109
Gráfica 19. Densidad aparente de almidón nativo y almidones modificados	111
Gráfica 20. Densidad apisonada de almidón nativo y almidones modificados con respecto a los grado de sustitución	111

Gráfica 21. Voluminosidad aparente del almidón nativo y almidones modificados con respecto a los grado de sustitución	112
Gráfica 22. Voluminosidad apisonada del almidón nativo y almidones modificados con respecto a los grado de sustitución	112
Gráfica 23. Índice de Carr del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución	113
Gráfica 24. Índice de Hausner del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución	113

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tipo de flujo según el porcentaje de compresibilidad	34
Cuadro 2. Métodos de modificación química	36
Cuadro 3. Reactivos del proceso de modificación del almidón	41
Cuadro 4. Reactivos del proceso de grado de sustitución	41
Cuadro 5. Descripción de las características de los equipos utilizados	42
Cuadro 6. Condiciones de operación para la reacción de acetilación	48
Cuadro 7. Condiciones de operación para la reacción de oxidación	49
Cuadro 8. Imagen óptica del almidón nativo en microscopio BX 41	85
Cuadro 9. Imagen óptica del almidón acetilado en microscopio BX 41	85
Cuadro 10. Imagen óptica del almidón oxidado en microscopio BX 41	86

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación porcentaje de humedad	47
Ecuación 2. Determinación porcentaje de pulpa	47
Ecuación 3. Determinación de grupos acetilo	51
Ecuación 4. Determinación del grado de sustitución	51
Ecuación 5. Determinación de grupos carboxilo	52
Ecuación 6. Determinación grupos carbonilo	53
Ecuación 7. Determinación del índice de absorción de agua	54
Ecuación 8. Determinación del índice de solubilidad en agua	54
Ecuación 9. Determinación del poder de hinchamiento	55
Ecuación 10. Determinación del porcentaje de agua separada	55
Ecuación 11. Determinación del porcentaje agua liberada	56
Ecuación 12. Determinación del porcentaje de solubilidad	57
Ecuación 13. Determinación del tamaño de partícula	57
Ecuación 14. Determinación de la densidad aparente	58
Ecuación 15. Determinación de la densidad apisonada	58
Ecuación 16. Determinación de la voluminosidad aparente	58
Ecuación 17. Determinación de la voluminosidad apisonada	58
Ecuación 18. Determinación del índice de Carr	58
Ecuación 19. Determinación del índice de Hausner	59
Ecuación 20. Reacción de acetilación durante la modificación	66
Ecuación 21. Reacción de oxidación durante la modificación	70

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Hojas de seguridad de los reactivos	120
Anexo B. Calculos de las soluciones	164
Anexo C. Humedad y contenido de pulpa del almidón nativo	167
Anexo D. Calculos balance de materia eliminación de humedad e impurezas	169
Anexo E. Calculos balance de materia acetilación	171
Anexo F. Calculos balance de materia oxidación	179
Anexo G. Grado de sustitución de la modificación de acetilación y oxidación	188
Anexo H. Temperatura de gelatinización	192
Anexo I. Viscosidad	193
Anexo J. Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua	196
Anexo K. Claridad en las dispersiones	201
Anexo L. Estabilidad al congelamiento y descongelamiento	207
Anexo M. Sineresis	210
Anexo N. pH	218
Anexo O. Solubilidad en agua fría (30°C) y agua caliente (70°C)	219
Anexo P. Contenido de humedad	223
Anexo Q. Tamaño de partículas	224
Anexo R. Densidad y voluminosidad e índice de Carr y Hausner	227

ABREVIATURAS

cm: Centímetros
(CH₃CO)₂: Anhídrido acético
OH⁻: Grupo hidroxilo
HCl: Ácido clorhídrico
NaOH: Hidróxido de sodio
NaOCl: Hipoclorito de sodio
H₂SO₄: Ácido sulfúrico
NaHSO₃: Bisulfito de sodio
NH₃OHCl: Clorhidrato de hidroxilamina
H₃NO: Hidroxilamina
%: Porcentaje
mL: Mililitros
Kg: Kilogramos
°C: Grados Celsius
g: gramos
min: minutos
No. Número
h: Horas
%T: Porcentaje de transmitancia
rpm: Revoluciones por minuto
UV: Ultravioleta
g/mL: gramos sobre mililitro
mL/gramo: mililitro sobre gramo
α: Alfa
β: Beta
-COOH: Grupo carboxilo
-(C=O)-: Grupo carbonilo

GLOSARIO

ACETILACIÓN: una reacción que implique la sustitución de dicho átomo de hidrógeno de un grupo hidroxilo con un grupo acetilo

AGUA TIPO I: usada en procedimientos que requieren de máxima exactitud y precisión, debe seleccionarse siempre que en la prueba sea esencial un nivel mínimo de componentes ionizados.

ALMIDÓN: sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales

CENTRIFUGACIÓN: método de separación de mezclas que puede usarse cuando la sedimentación es muy lenta; para acelerar esta operación la mezcla se coloca en un recipiente que se hace girar a gran velocidad; por acción de la fuerza centrífuga los componentes más pesados se sedimentan más rápidamente y los livianos quedan como sobrenadante.

COMPRESIÓN: fuerza o presión que se ejerce sobre algo con el fin de reducir su volumen

ESPECTRO INFRARROJO: representación gráfica de los valores de longitud de onda o de frecuencia (cm^{-1}) ante los valores de % de transmitancia (%T).

EXCIPIENTE: son aditivos que se utilizan para transformar una sustancia farmacológicamente activa en una forma farmacéutica, por lo tanto pueden influir en las características químicas y/o físicas del principio activo.

FARMACÉUTICA: de la farmacia como ciencia y técnica o de los medicamentos, o relacionado con ellos.

FÁRMACOS: un fármaco es aquella sustancia química purificada que se utiliza para el tratamiento, la cura, la prevención o el diagnóstico de alguna enfermedad.

FILTRACIÓN: proceso de separación de partículas sólidas de un líquido utilizando un material poroso llamado filtro.

FLUIDO NO NEWTONIANO: es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica.

FORMAS FARMACÉUTICAS SÓLIDAS: son aquellas formas farmacéuticas que contienen uno o varios principios activos que se administran por vía oral. Estos pueden ser tabletas comprimidas, cápsulas o polvos para suspensión.

FLUIDEZ: propiedad de los cuerpos cuyas moléculas tienen entre sí poca coherencia, y toman siempre la forma del recipiente donde están contenidos.

GRANULO: son presentados en forma de gránulos los materiales que por sus características deben ser utilizados con un tamaño de partícula estándar.

HOMOPOLIMERO: polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de toda su cadena, el polietileno, poliestireno o polipropileno son ejemplos de polímeros pertenecientes a esta familia.

OXIDACIÓN: método de modificación de almidón con perclorato, dicromato, permanganato de potasio, peróxido de hidrogeno o hipoclorito de sodio.

PAPA: la papa o patata es un tubérculo comestible que se extrae de la planta herbácea americana *Solanum tuberosum*, de origen andino.

PRINCIPIO ACTIVO: sustancia o mezcla de sustancias afines, dotadas de un efecto farmacológico específico o que sin poseer actividad, al ser administrados al organismo, la adquiere.

PSEUDOPLÁSTICO: son aquellos fluidos que disminuyen su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación aplicada

RSD: coeficiente de variación o desviación estándar relativa.

TAMIZAR: operación básica galénica en la cual se hace pasar la mezcla o el granulado a través de un tamiz disminuyendo el tamaño de la partícula y separándolo en función de su tamaño.

TRANSMITANCIA: es la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en una cantidad de tiempo y en una determinada longitud de onda.

TUBERIZACIÓN: proceso de transformación de la parte inferior del tallo o de los órganos radicales en tubérculos.

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como finalidad acondicionar el almidón de papa eliminando humedad e impurezas que pueda contener, para proceder a modificarlo mediante acetilación variando el volumen de anhídrido acético y oxidación, variando la concentración de cloro activo del hipoclorito de sodio. La modificación se verifica utilizando espectrometría de infrarrojo al observar la aparición de una banda entre $1700 - 1750 \text{ cm}^{-1}$ para la acetilación y sin cambios en el espectro para la oxidación. Adicional se utiliza una técnica cuantitativa para determinar el porcentaje de grupos hidroxilos sustituidos durante la modificación por cada método. Con lo anterior se logró comprobar una modificación mediante acetilación con los almidones a diferente adición de anhídrido acético, una modificación leve para uno de los almidones oxidados al obtener porcentaje de hidroxilos sustituidos y una no modificación para otro almidón oxidado a menor concentración de cloro activo; debido a lo anterior se realizaron pruebas de caracterización para observar los cambios que habían sufrido los almidones acetilados y el almidón oxidado (no se tiene en cuenta el almidón no oxidado) con respecto al almidón nativo; la caracterización que se realiza es física, química y farmacotécnica, elaborada con el fin de evaluar las propiedades funcionales de los almidones y sugerir su posible aplicación como excipiente farmacéutico; las propiedades evaluadas presentan cambios en relación con el almidón modificado y el incremento del grado de sustitución tanto para la acetilación como para la oxidación, una de las propiedades farmacotécnicas evaluada fue la densidad aparente y apisonada, con la que se determinó voluminosidad, índice de Carr y Hausner, mediante los que se puede obtener una idea de la compresibilidad de los almidones, la cual incrementa al aumentar la fluidez del almidón, por todo lo anterior se considera que los almidones acetilados y oxidados de papa corresponden a un material que puede llegar a ser apto para ser utilizado como excipiente por compresión directa.

Palabras clave: almidón, acetilación, excipiente, farmacéutica, oxidación.

INTRODUCCIÓN

El bajo costo, la disponibilidad, la renovabilidad y la biodegradabilidad del almidón de papa, han hecho que este y sus respectivas modificaciones (acetilado y oxidado), se conviertan en un material importante para la diversidad de aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica y demás; ya que actualmente se emplea como adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante y espesante. (1)

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son insolubles y pobremente hidratados en agua fría; pero se dispersan dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso en concentraciones mayores del 35%. (1)

Por otro lado, las desventajas del almidón nativo en “condiciones normales” (temperatura, presión, pH, etc.) reducen su aplicación industrial dada la baja resistencia al esfuerzo de corte, alta retrogradación y sinéresis que este presenta. Pero esto, puede mejorarse mediante las modificaciones físicas, químicas y enzimáticas (ver figura 6). La modificación química del almidón nativo ha sido ampliamente usada con los métodos más comunes como los tratamientos con ácido, oxidación, sustitución, entrecruzamiento, esterificación y eterificación. (2)

La oxidación por su parte, permite introducir grupos carbonilo y carboxilo dentro de las cadenas del almidón. Mediante agentes oxidantes como peróxidos, periodatos, permanganatos, dicromatos, persulfatos y cloritos. Los factores que afectan la oxidación con hipoclorito incluyen pH, temperatura, concentración de hipoclorito, estructura molecular y origen del almidón. Las principales reacciones durante la oxidación con hipoclorito son el rompimiento de enlaces de cadenas poliméricas y la oxidación a grupos carbonilo y carboxilo. En cambio, la acetilación permite introducir grupos acetilo a la cadena del almidón a través del anhídrido acético en presencia del hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador, mejorando de igual forma las diferentes propiedades del almidón nativo. (2)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de modificación del almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los parámetros que inciden en el proceso de modificación del almidón de papa.
- Modificar el almidón de papa mediante acetilación y oxidación por medio de un desarrollo experimental.
- Evaluar las propiedades físicas, químicas y farmacotécnicas de los almidones modificados.

1. MARCO TEORICO

1.1 LA EMPRESA

1.1.1 Reseña histórica¹. Comercializadora nacional de papas R&G S.A.S. fundada el 16 de agosto del 2006, se consolida como una empresa dedicada a la producción, distribución y comercialización de papas fritas tipo cabello de ángel, caracterizada por ser una empresa laboralmente responsable y comprometida con la calidad de producto, la cual cuenta con una planta de producción ubicada en el departamento de Cundinamarca en el municipio de Soacha.

Aunque su comercialización inicio en la ciudad de Bogotá, en el año 2007 se posicionó fuera de la ciudad, razón por la cual actualmente cuentan con un amplio mercado en ciudades como Cartagena, Barranquilla, Sincelejo, Montería, entre otras.

1.1.2 Proceso de producción. El proceso se compone de las siguientes etapas:

- Recepción
- Lavado
- Pelado
- Tajado y corte
- Centrifugado y secado
- Fritura
- Adición de sal
- Inspección y empaque

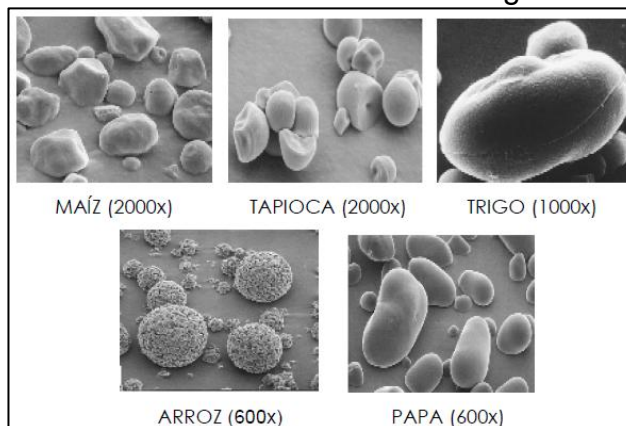
1.2 ALMIDON

Es un polisacárido de reserva de las plantas de estructura semicristalina y almacenado en forma de gránulos, los cuales presentan una diversidad de formas y tamaños característicos de cada especie, tales como formas elongadas, esféricas, aplanadas con un surco longitudinal, helicoidales, poliédricos y polimórficos, tal como se observa en la figura 1, además de tamaños que varían entre 0.5 a 100 μm .

El tamaño de partícula del almidón es lo que más afecta sus propiedades funcionales, teniendo en cuenta que los polímeros más largos de almidón forman una suspensión temporal cuando se agitan en agua y no forman una solución, además de su tendencia a hincharse cuando los gránulos están sin cocer. Sin embargo, cuando el almidón se cuece su hinchamiento es irreversible. (1), (2)

¹ COMERCIALIZADORA NACIONAL DE PAPAS R&G S.A.S. Diagrama de flujo de proceso. Bogotá, Colombia; 2016.

Figura 1. Microfotografías de gránulos de almidón de diferentes fuentes vegetales

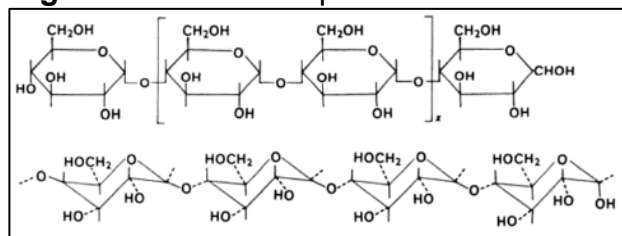


Fuente: Tomado del libro, Starches.²

El almidón se encuentra compuesto por dos homopolímeros de α -glucosa estructuralmente diferentes y de alto peso molecular, los cuales son amilosa (figura 2) contenida en un 20% y soluble en agua, y amilopectina (figura 3) contenida en un 80% e insoluble en agua.

1.2.1 Amilosa. Está constituida por cadenas largas no ramificadas en forma de hélice, donde sus moléculas están situadas en las capas interiores. Están compuestas de aproximadamente de 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1,4. Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α -D-1,6, aproximadamente entre 0,3% y 0,5% del total de los enlaces; generalmente no son ni muy largas, ni muy cortas y están separadas por grandes distancias permitiendo a la molécula actuar como polímero lineal, formando películas y fibras fuertes. (3)

Figura 2. Estructura química de la amilosa



Fuente: Tomado del libro, Principios de química orgánica.^{3,4}

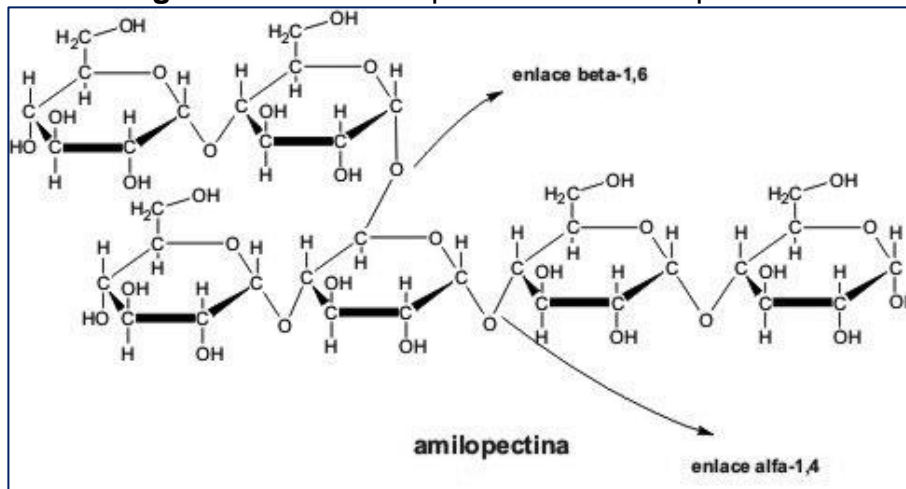
² ATWELL, M.D., Thomas D. Starch Modifications. En: Starches. Eagen Press Handbook. USA, 1999 p. 31-48.

³ GEISSMAN, T.A. Principios de química orgánica. Segunda Edición. Editorial reverté. Barcelona.1973. 568 p.

⁴ GONZALEZ Ana María y RAISMAN Jorge S., Amilosa, 2004, <http://www.biologia.edu.ar/macromoleculas/figacro/amilosa.gif> [Consulta: Miércoles, 7 de Septiembre de 2016]

1.2.2 Amilopectina. Es el componente más ramificado del almidón, se encuentra constituida por aproximadamente 12 unidades de glucosa que aparecen en promedio, cada 20 a 25 unidades de glucopiranosas, formándose a través de residuos de cadenas α -D-glucopiranosil unidos principalmente por enlaces (1,4), pero con el 5-6% de enlaces (1,6) en las ramificaciones. (3), (4)

Figura 3. Estructura química de la amilopectina



Fuente: Tomado de la web. Asturnatura.com^{5,6}

1.2.3 Fuentes de obtención. El almidón hace parte de la composición química de cereales, tubérculos y leguminosas, siendo el maíz la principal fuente de almidón a nivel mundial, abarcando casi el 80% de la producción y teniendo a Estados Unidos como su mayor productor, seguido de la papa y el trigo producidos en mayor proporción por países europeos, la yuca producida en Asia y finalmente en menor proporción el almidón de arroz y camote.

Sin embargo, existen fuentes no convencionales de las cuales también se puede extraer este polisacárido, como lo son el tapioca, la avena, el plátano, la cebada, el arroz, el frijol, la lenteja, el sorgo, entre otros. (1)

1.2.4 Aplicaciones. Actualmente, el uso del almidón como fuente natural y materia prima es cada vez mayor, debido a que puede ser utilizado en diferentes industrias o productos como papel, farmacéuticos, adhesivos, alimentos, madera laminada, textiles, plásticos y como materia prima para la fabricación de etanol, además de ser el principal componente dietario del ser humano, puesto que provee del 70 al 80% de las calorías que se consumen a nivel mundial.

⁵ CARRASCAL SANCHEZ. Op. Cit., p. 5.

⁶ ASTURNATURA.COM. 2016, <http://www.asturnatura.com/articulos/glucidos/polisacaridos.php>. [Consulta: Miércoles, 7 de Septiembre de 2016]

Para la industria farmacéutica es de gran importancia, puesto que puede ser utilizado como excipiente en diferentes utilidades como desintegrante, aglutinante o diluyente en la elaboración de formas farmacéuticas, lo anterior debido a sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas. (3)

Adicionalmente, su estudio incorporado a los plásticos es de gran interés a nivel ecológico, debido a que al ser un polímero natural promueve a la creación de materiales biodegradables. (2)

1.3 PAPA (*Solanum tuberosum*)

Es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, su origen radica en América, su introducción a Europa se realizó a mediados del siglo XVI por los españoles, y su mayor diversidad genética se encuentra en las tierras altas de los Andes de América del sur. Se desarrolla en un rango de altitud de 2400 a 3800 m, en los pisos inter-andinos y sub-andinos, con una temperatura entre 10 a 20°C.

Existen dos subespecies de *Solanum tuberosum*: *S.t. andigena*, la cual es cultivada en modo restringido en regiones de América central y sur y *S.t. tuberosum*, que es la más cultivada en el mundo. Sus diferencias radican principalmente en las hojas, los folios, el pedicelo, los ojos y la forma del tubérculo. (5)

Además de *Solanum tuberosum*, existen otras especies de papa como *S. phureja*, *S. stenotomum*, *S. x juzepczukii* y *S. x curtilobium*; en Colombia existen variedades de papa como betina, criolla, ICA R12, esmeralda, pastusa, roja Nariño, rubí, mambra y tuquerreña. (6)

1.3.1 Taxonomía. (5)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Tribu: Solaneae

Género: *Solanum*

Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Especie: *Solanum tuberosum*

Subespecies: *Solanum tuberosum*

ssp. *Andigena*, *Solanum tuberosum*

ssp. *Tuberosum*

1.3.2 Composición y usos. En cuanto al aporte nutricional, la papa es un alimento con un importante aporte de hidratos de carbono, potasio, vitamina C, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos saturados, vitamina B6, grasa, sodio y ácidos grasos poliinsaturados. El resto de nutrientes presentes en menor medida en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: vitamina

B, magnesio, agua, fibra, vitamina E, vitamina B9, vitamina B3, hierro, fósforo, cinc, proteínas, yodo, vitamina B2, calcio, selenio, carotenoides y vitamina A, con un peso de hasta 300 g; recién cosechada es muy susceptible a descomponerse razón por la cual se debe almacenar correctamente para evitar pérdidas post-cosecha.

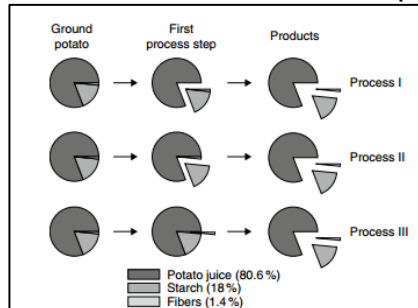
Después de su cosecha es destinada a diversos fines desde la utilización como hortaliza en casa hasta su procesamiento para productos alimentarios industriales, donde se encuentran las papas pre congeladas y fritas con variedad de sabores, generando que el consumo mundial de este tubérculo fresco sea menos del 50% de la producción mundial. (7)

1.4 ALMIDON DE PAPA

Este tipo de almidón se extrae de la papa, es un polvo fino, sin sabor y de excelente textura que genera mayor viscosidad que los almidones de trigo y maíz, se forma durante las primeras etapas de tuberización, forma parte esencial del tubérculo puesto que constituye el material de reserva usado en la respiración y germinación, el número de gránulos y el tamaño (1µm – 120µm) aumenta proporcionalmente al crecimiento de la papa, además constituye el 16 al 20% del contenido total de la papa, equivalente al 77% de la materia seca. (8)

1.4.1 Proceso de obtención de almidón de papa. La primera fase para la extracción de almidón de papa es el muestreo, donde se separan las papas que se encuentren dañadas o picadas, procede el lavado, pelado y corte, en esta última fase la trituración genera que las células se rompan, formando así una mezcla de gránulos de almidón, paredes celulares rotas (fibra) y el resto del contenido de la célula (jugo de papa), en la figura 4 se puede observar los tres diferentes procesos de separación de la mezcla. (8)

Figura 4. Procesos de separación para obtención de almidón de papa



Fuente: Tomado del capítulo Potato

Starch del libro Starch.⁷

Cuando se realiza la extracción del almidón de la papa se liberan grandes gránulos ovales a esféricos cuyo tamaño oscila entre 5 a 100 μm , los cuales después se decantan y se secan para obtener un polvo muy refinado el cual contiene una cantidad mínima de proteína y grasa, sin embargo, la papa ocupa el cuarto lugar en importancia como alimento debido al alto contenido de almidón que posee (16 – 20%). (9)

1.5 PROPIEDADES DEL ALMIDÓN

Para determinar la utilidad del almidón en diferentes aplicaciones, se debe tener en cuenta algunas propiedades nombradas a continuación:

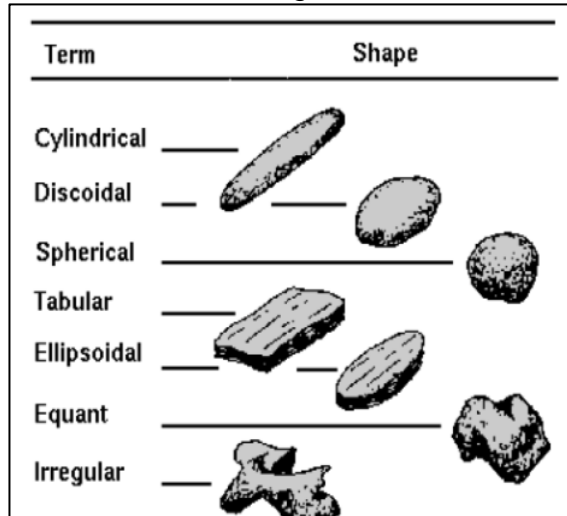
- **pH:** Los almidones cuya conductividad eléctrica es superior a la media estándar, indican gran acidez (concentración de hidrogeniones $[\text{H}^+]$), por tal motivo se considera una propiedad química de gran importancia, al momento de ser caracterizado. (10)
- **Solubilidad:** Capacidad del almidón para disolverse en agua cuando se encuentra por encima de su temperatura de gelatinización. (11)
- **Absorción de agua:** Se encuentra directamente relacionada con la temperatura de gelatinización, puesto que al aumentar la temperatura, los gránulos de almidón presentan mayor retención de agua. (11)
- **Poder de hinchamiento:** Propiedad irreversible de un almidón cuando inicia la absorción de agua debido al incremento en la temperatura de gelatinización. (11)
- **Sinéresis.** Es un fenómeno consistente en la liberación de agua del interior del gel de almidón, que se forma durante el proceso de gelatinización, lo cual se ocasiona por el reagrupamiento interno de las moléculas de amilosa y amilopectina, que se da como producto de la retrogradación. (4)
- **Resistencia al congelamiento y enfriamiento:** Una pasta de almidón posee una estructura de esponja capaz de liberar y absorber agua. Cuando incrementa su sinéresis, se deteriora su estructura y se origina una retrogradación total a -20°C , teniendo en cuenta que los largos tiempos de almacenamiento y las bajas temperatura favorecen la retrogradación. (10)

⁷ GROMMERS, Hielko E. y VAN DER KROGT, Do A. Potato Starch: Production, Modifications and Uses. *En: Starch: Chemistry and Technology*. 3 Ed. New York, 2009.

- **Claridad de la pasta:** Mediante este método se puede observar la transparencia de una suspensión de almidón gelatinizado; lo anterior se encuentra directamente relacionado con el estado de dispersión. (10)
- **Viscosidad.** Es la resistencia que posee un fluido a las deformaciones producidas por tensiones cortantes. Los valores de viscosidad varían con la velocidad de deslizamiento, por lo cual, los almidones se denominan fluidos no newtonianos y su comportamiento es descrito como flujo pseudoplástico debido a que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de deslizamiento. (4)
- **Gelatinización.** Cuando los gránulos de almidón se encuentran expuestos al agua fría, estos la absorben y se hinchan entre 10-20%, pero cuando se ponen en contacto con humedad y altas temperaturas se produce una pasta, a lo cual se le denomina gelatinización. En este proceso el hinchamiento del almidón es irreversible puesto que se pierde el orden estructural de los gránulos al ser sometido al agua caliente. (4)
- **Retrogradación.** Es un proceso subsecuente de la gelatinización, que tiene lugar cuando una dispersión de almidón se enfría, en este proceso las cadenas lineales de almidón se reasocian entre sí, a través de sus múltiples grupos hidroxilo por medio de puentes de hidrogeno, para formar un precipitado insoluble, y esta asociación genera que se retenga agua en los intersticios. La velocidad de retrogradación depende de factores como la longitud de las cadenas de amilopectina, la concentración de lípidos y la presencia de derivados de monoéster y fosfatos. (4)
- **Tamaño de partícula.** Es una propiedad compleja de cuantificar, sin embargo, existen diversos postulados y equipos que permiten su cuantificación tales como: diámetro de Feret, diámetro de Martin, diámetro de Stokes, determinación por tamices y Mastersizer 200. Esta propiedad influye en la compactibilidad, teniendo en cuenta que cuando el tamaño disminuye se incrementa el ángulo de reposo, el coeficiente de fricción interparticular y la velocidad de flujo. (12)
- **Forma de partícula.** Es importante tener en cuenta que al aumentar la angularidad de los gránulos de almidón y el ángulo de reposo, se disminuye la velocidad de flujo a través de un orificio y la densidad aparente; al igual que el tamaño de partícula. La forma también tiene influencia en los valores de las propiedades de compactación de los materiales sólidos (12).

La figura 5, muestra las diferentes formas de partículas que se pueden encontrar.

Figura 5. Forma de partícula de materiales granulados



Fuente: Tomado de las diapositivas. Pruebas Reológicas.8

- **Densidad aparente y apisonada.** La densidad aparente es el volumen ocupado en un determinado espacio, que incluye los espacios intersticiales de una clase de grano, mientras que la apisonada o compactada incluye los espacios entre partículas.
- **Compresibilidad.** Se define como la capacidad de un material granulado para compactarse de forma permanente constituyendo un comprimido de dureza especificada. Su proceso consiste en que un determinado volumen se comprima en la cavidad de una matriz entre dos punzones, con el objetivo de consolidar el material en forma de compacto o comprimido (12).

Durante el proceso de compresión, se desarrollan un conjunto de fuerzas, que provocan la aparición de otras fuerzas, que permiten la unión entre las distintas partículas que integran el comprimido (12).

El porcentaje de compresibilidad se puede determinar mediante el índice de Carr; este porcentaje indica el tipo de flujo que posee el material, en el cuadro 1 se indican los tipos de flujo según el porcentaje de compresibilidad.

Cuadro 1. Tipo de flujo según el porcentaje de compresibilidad

% Compresibilidad	Tipo de flujo
5-15	Excelente
16-18	Bueno
18-25	Regular
22-33	Pobre
33-38	Muy pobre
>39	Pésimo

Fuente: Tomado de las diapositivas pruebas reológicas.⁸

Y el índice de Hausner Se encuentra relacionado con la fluidez de un polvo o material granular, el cual tiene en cuenta la densidad aparente y apisonada, valores mayores a 1.25 indican un índice de fluidez pobre y valores menores o iguales a 1.25 son indicativos de buen flujo.

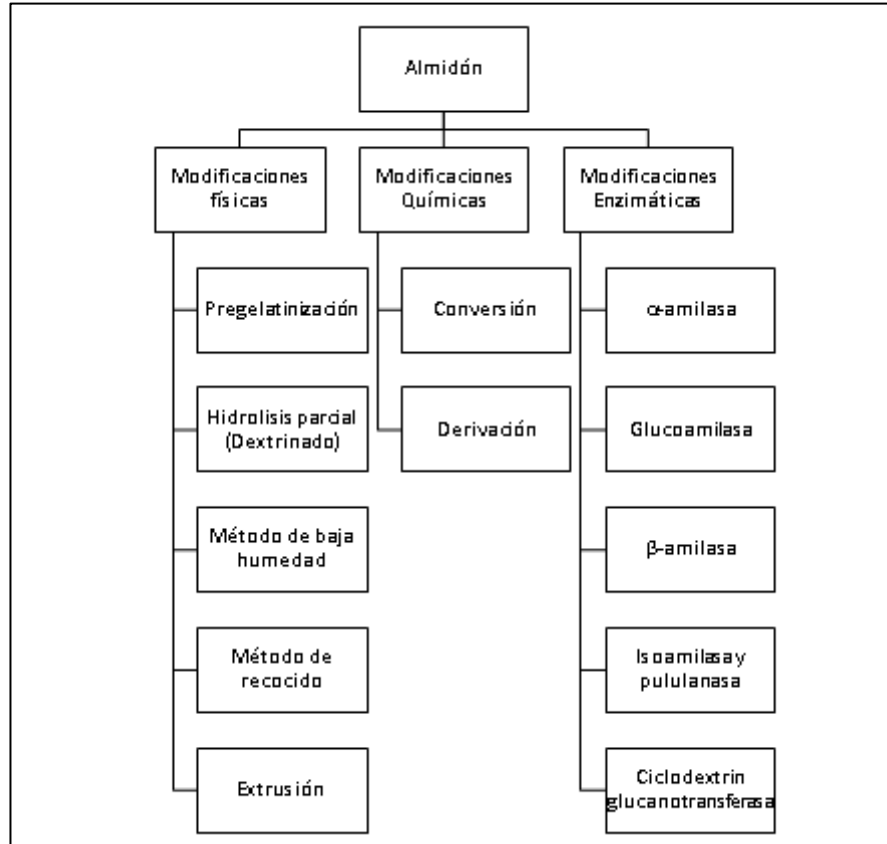
1.6 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

El almidón nativo, al carecer de versatilidad para soportar ciertas condiciones de procesamiento debido a su fragilidad, baja estabilidad, descomposición térmica, incompatibilidad con algunos solventes y demás, reduce su utilidad en aplicaciones industriales, por lo cual modificarlo aumenta su uso debido a los cambios que presenta en sus características físicas, químicas y/o reológicas mejorando sus propiedades funcionales. (1), (3), (9)

A los almidones se les puede realizar modificaciones físicas, químicas y enzimáticas, mostradas en la figura 6.

⁸ PRUEBAS REOLOGICAS [Anónimo]

Figura 6. Tipos de modificaciones de los almidones



1.6.1 Modificaciones físicas. Se realizan con el fin de cambiar la estructura granular, el tamaño físico o incrementar la solubilidad del almidón en agua fría. Sus métodos involucran el tratamiento de los gránulos bajo diferentes combinaciones de temperatura, humedad, presión, desgaste mecánico e irradiación; dentro de estos métodos se incluyen la pre-gelatinización, hidrolisis parcial (dextrinado), método de baja humedad, método de recocado, extrusión, tratamiento térmico, radiación y ultrasonido. (10)

1.6.2 Modificaciones enzimáticas: Durante esta modificación, las enzimas son usadas para hidrolisis de almidón, particularmente para la producción de dextrinas y glucosa; las enzimas más empleadas son (14):

- **α-amilasa:** La cual hidroliza las moléculas de amilasa y amilopectina dando origen a la formación de oligosacáridos.
- **Glucoamilasa:** Se emplea en combinación con α-amilasa, para producir jarabes de D-glucosa y D-glucosa cristalina.

- **β -amilasa:** Produce unidades de maltosa de forma secuencial desde el extremo no reductor de la amilosa y no hidroliza los enlaces 1,6 de la amilopectina.
- **Isoamilasa y pululanasa:** Se encargan de hidrolizar los enlaces 1,6 de amilopectina.
- **Ciclodextrin glucanotransferasa:** Es una enzima procedente de *Bacillus*, formando anillos de D- α -glucopiranosas unidas por enlaces 1,4 a partir de polímeros de almidón.

1.6.3 Modificaciones químicas. Este tipo de modificación está relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilos (OH) del almidón, donde generalmente el almidón nativo se hace reaccionar con reactivos químicos que introducen sustituyentes químicos a la molécula; la alteración de las propiedades del almidón vía química están dirigidas a modificar las características funcionales como coacción, gelatinización, retrogradación, capacidad de retención de agua, entre otras. (2), (11)

Por otro lado, las modificaciones químicas se pueden dividir en métodos de derivación y conversión (cuadro 2), y durante la modificación se establecen cambios como lo son la introducción de caracteres específicos, la estabilización y la modificación reológica del comportamiento del material. (12)

Cuadro 2. Métodos de modificación química

Modificación		Tipo	Propiedades
Química	Conversión	Hidrólisis ácida	Reduce el peso moléculas, disminuye la viscosidad y blanquea el almidón.
		Tratamiento alcalino	
		Oxidación	
		Piroconversión - dextrinización	
	Derivación	Eterificación – hidroxipropilación	Disminuye la retrogradación, estabiliza la molécula para los procesos físicos.
		Esterificación – Acetilación, Succinación	
		Entrecruzamiento – almidón fosfatado	
		Modificación dual	

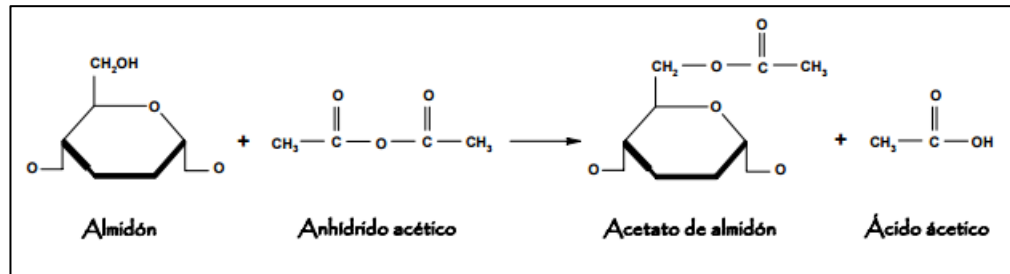
Fuente: Tomado de la tesis, Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*).⁹

1.7 ACETILACIÓN

⁹ GUERRA DELLA VALLE, Denisse. Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*). Tesis de Magister en Ciencias en Desarrollo de productos bióticos. Yaupetec, Morelos, México : Instituto Politécnico Nacional, 2007. 13 p.

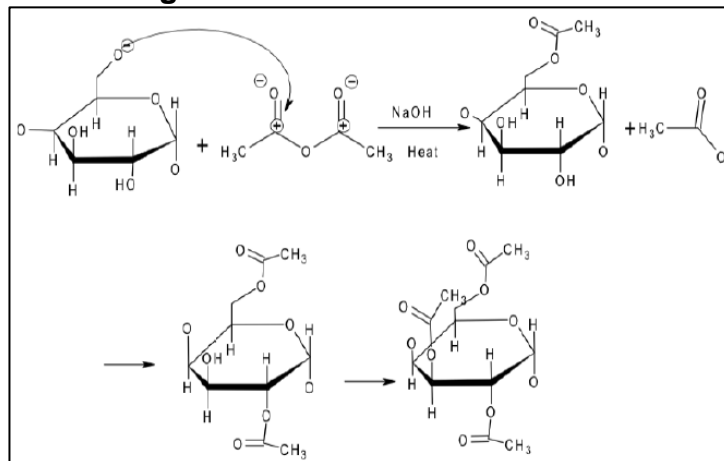
La acetilación es una modificación química mediante esterificación donde los grupos hidroxilos (OH), son sustituidos por grupos acetilos ($\text{CH}_3\text{-C=O}$), (ver reacción 1), los cuales se incorporan en la molécula dependiendo de la fuente del almidón, concentración del reactivo, tiempo de reacción, pH y catalizador y así mismo, le brindan mayor estabilidad al almidón al variar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. (11), (12)

Reacción 1. Acetilación del almidón



En la reacción de acetilación (figura 8), el almidón se trata con anhídrido acético en presencia de hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador, y la modificación se lleva a cabo sustituyendo los OH de las posiciones C_2 , C_3 y C_6 , donde el carbono 6 es el más reactivo y la acetilación se realiza más fácilmente en este que en los carbonos 2 y 3. (3), (1)

Figura 7. Reacción de acetilación

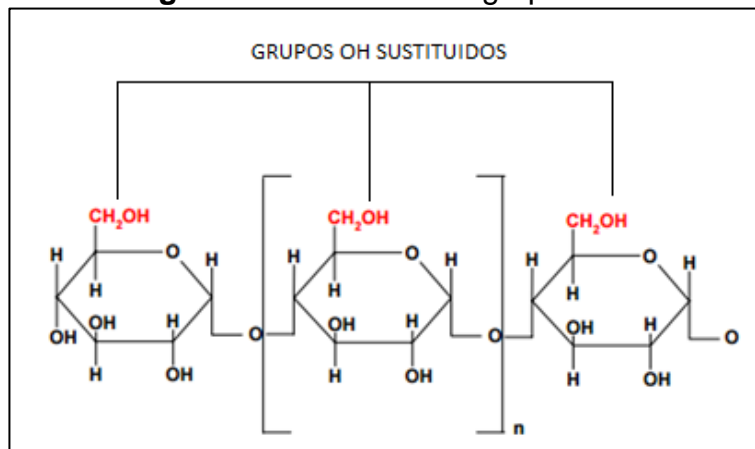


Fuente: Tomado de la tesis, Acetilación de almidón de millo y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico.¹⁰

¹⁰ SULBARAN RUIZ, Alexander Enrique. Acetilación de almidón de millo y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Tesis de de Magister en Ciencias Farmacéuticas. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2013. 7 p.

Estudios realizados al almidón de papa, mencionan que en los gránulos pequeños y con bajos contenidos de amilosa, la introducción de grupos acetilo se favorece lo cual da como resultado un alto grado de sustitución. Teniendo en cuenta que el grado de sustitución varía según la naturaleza del almidón, en este caso el grado de sustitución es el promedio de número de grupos hidroxilo en cada unidad de D-glucopiranosil la cual esta sustituida (moles de sustituyente por unidad D-glucopiranosil), para un máximo grado de sustitución de 3, puesto que cada unidad D-glucopiranosil tiene tres grupos $-OH$ que pueden sustuirse, tal como se observa en la figura 9. (1), (17)

Figura 8. Sustitución de grupos OH^-

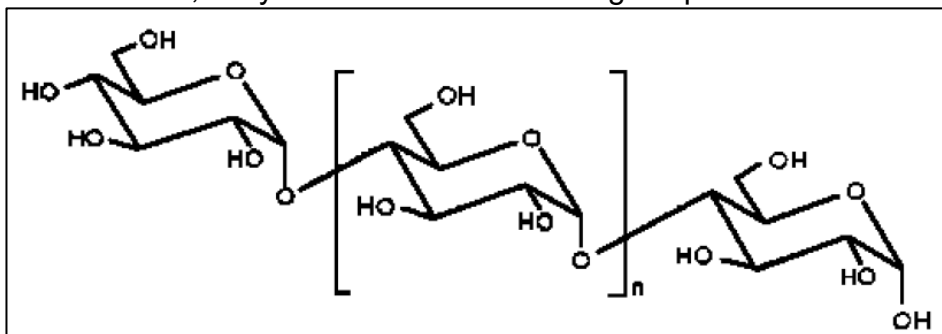


1.8 OXIDACIÓN

Los almidones oxidados actualmente representan los grupos más grandes de almidones modificados en producción, además de proveer al almidón no solo un cambio en su color (blanqueado), si no en la producción de grupos carboxilo, estos grupos ayudan a la estabilización de las moléculas lineales de amilosa, minimizan la retrogradación y son los que definen la magnitud de la oxidación.

Algunos factores que influyen en el nivel de oxidación son la concentración del reactivo, la fuente del almidón, las características de los gránulos y el grado de heterogeneidad (contenido o relación de amilosa y amilopectina); sin embargo, durante la modificación y dependiendo de las condiciones de reacción (temperatura y pH), los grupos OH^- de las moléculas de almidón son primero oxidadas a grupos carbonilo ($C=O$) y posteriormente a grupos carboxilo ($COOH$), es decir, que la cantidad de ambos grupos (carbonilo y carboxilo) son los que definen el grado de sustitución en el almidón oxidado, especialmente en los grupos OH^- de las posiciones de los carbonos 2,3 y 6 de cada unidad de α -D-glucopiranosil, ver figura 10. (2), (18).

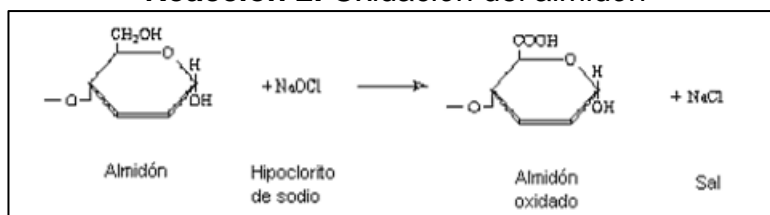
Figura 9. Grupos hidroxilos (OH) en las posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de una unidad α -D-glucopiranosil.



Algunos reactivos que oxidan el almidón, pueden ser perclorato, dicromato, permanganato de potasio, persulfato de amonio, peróxido de hidrogeno, bromuro e hipoclorito de sodio (NaOCl), el cual es el más ampliamente utilizado en la reacción de oxidación, ver figura 11.

Una cualidad importante de los almidones oxidados es que se gelatinizan a menos temperatura que los almidones nativos, debido a que la oxidación promueve una mayor capacidad de absorción de agua. (2)

Reacción 2. Oxidación del almidón



1.9 ALMIDONES MODIFICADOS EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA

Para la industria farmacéutica, los almidones modificados se caracterizan porque tienen usos particulares como excipiente (aglutinante, diluyente y desintegrante) espesante, emulgente, estabilizador o como sustancia inerte.

1.9.1 Excipiente. Los excipientes son los componentes inertes del medicamento, los cuales se combinan con los diferentes principios activos, (responsables del efecto farmacológico) para la obtención de distintas presentaciones galénicas, como lo son, las capsulas, los comprimidos, las soluciones, etc.; donde estos facilitan la preparación, conservación, velocidad de absorción, disolución, metabolismo y administración de los medicamentos tanto en humanos como en animales. Los excipientes se clasifican dependiendo al medicamento en el cual se vayan a emplear; siendo estos algunos (20):

- **Aglutinante:** Es un excipiente que permite mantener todos los ingredientes del medicamento juntos; se usa especialmente para la compactación de tabletas solidas de administración oral.
- **Diluyente:** Es un excipiente que se utiliza para el relleno de las diferentes capsulas o pastillas, el cual permite su presentación para el consumo, tanto en humanos como en animales.
- **Desintegrante:** Es un excipiente que permite la desintegración de los medicamentos (capsulas, tabletas, etc.) dentro del tracto digestivo, ya que este al humedecerse libera los diferentes principios activos para su debida absorción.

1.9.2 Forma farmacéutica. Es la presentación individualizada de los diferentes medicamentos donde se encuentran presentes tanto los excipientes como los principios activos. En pocas palabras, es la dosificación personalizada de cada fármaco para su debida administración. Actualmente se pueden encontrar de diferentes formas; solido, semisólido, líquido y gaseoso. (20)

- **Formas farmacéuticas solidas:** Se incluyen los polvos, gránulos, capsulas, extractos, supositorios, píldoras, tabletas o comprimidos.
- **Formas farmacéuticas semisólidas:** Se incluyen las pomadas, las pastas, las cremas, las jaleas y los emplastos.
- **Formas farmacéuticas liquidas:** Se incluyen las aguas aromáticas, jarabes, suspensiones, emulsiones, lociones, etc.
- **Formas farmacéuticas gaseosas:** Se incluyen el oxígeno, el óxido nitroso, los aerosoles y las dispersiones finas de un líquido o solido en un gas en forma de niebla.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 REACTIVOS

Para todos los reactivos nombrados a continuación, se encuentra la hoja de seguridad en el Anexo A y su preparación en el Anexo B, por otro lado cabe resaltar que durante todo el proceso se utilizó agua tipo I brindada por los laboratorios de Gestión industrial del SENA.

2.1.1 Reactivos del proceso de modificación y grado de sustitución del almidón.

Cuadro 3. Reactivos del proceso de modificación del almidón

Reactivos	Cantidad	Unidad
HCl 0.4%	200	mL
Anhídrido acético 99%	50	mL
NaOH 40%	100	mL
HCl 0.5N	20	mL
NaOH 2N	80	mL
NaOCl al 0.5% de cloro activo	400	mL
NaOCl al 1% de cloro activo	400	mL
H ₂ SO ₄ 1N	20	mL
NaOH 1N	15	mL
Bisulfito de sodio	4	G





Cuadro 4. Reactivos del proceso de grado de sustitución

Reactivos	Cantidad	Unidad
NaOH 0,1N	2	mL
NaOH 0,45 N	125	mL
HCl 0,2 N	325	mL
HCl 0,1 N	125	mL
NaOH 0,01N	300	mL
HCl 0,1 N	250	mL
NH ₃ OCl	5	G
H ₃ NO	100	mL

NaOH 0,05N	20	mL
------------	----	----





2.2 EQUIPOS


Cuadro 5. Descripción de las características de los equipos utilizados.

Nombre del equipo	Descripción Características	Imagen
Horno de calentamiento con recirculación de aire	Ofrece breves tiempos de calentamiento y grandes reservas de potencia, se utilizó para el proceso de secado en la acetilación, en la oxidación, y para el % de pulpa del almidón nativo.	
Plancha de calentamiento con agitación (SP131010-33Q)	Se utiliza para calentar recipientes con líquidos. Posee un selector de potencia que permite ajustar la emisión térmica y el tiempo necesario para calentar un recipiente y/o fluido.	
Balanza de precisión	Permite la obtención de pesos a gran exactitud; facilitando las diversas operaciones de laboratorio.	
Baño de agua (baño maría)	Conserva la temperatura del agua desde los 25°C hasta los 100°C. Este baño tiene un alto rendimiento que va desde los 2L hasta los 28 L, incluye modelos de poca profundidad.	

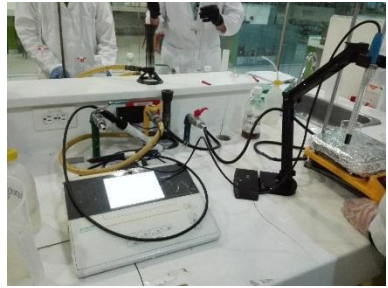

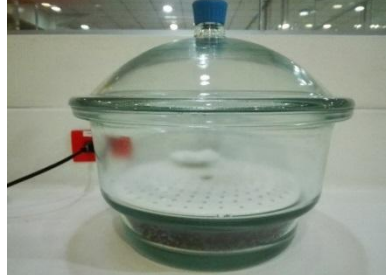
--	--	--


Cuadro 5. (Continuación)

Nombre del equipo	Descripción Características	Imagen
Balanza analítica	Permite medir masas pequeñas ofreciendo valores de precisión de lectura de 0,1 µg a 0,1 mg, utilizada para datos de nivel analítico. Carga mínima de 10 mg.	
Centrifuga ROTOFIX 32 A	Es una máquina que pone en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes o fases.	
Espectrofotómetro UV	Permite determinar la concentración de una sustancia en una solución, permitiendo así la realización de análisis cuantitativos	
Analizador de humedad.	Permite determinar la sustancia seca que queda tras un proceso de secado con energía infrarroja de la sustancia total previamente pesada y calcula así la humedad de la masa pesada húmeda.	

Espectrofotómetro de infrarrojo	Permite la identificación de grupos funcionales de materiales orgánicos, por transmisión espectroscópica de infrarrojo por transformada de Fourier.	
---------------------------------	---	---

Cuadro 5. (Continuación)

Nombre del equipo	Descripción Características	Imagen
Multi-parámetro, medidor (pH, conductividad y % de O ₂)	Permite determinar e integrar varios parámetros en una sola toma de medición, donde se puede detectar el PH, la conductividad y el DO (Oxígeno disuelto) todo esto de manera simultánea.	
Viscosímetro Brookfield Tipo DV-II	Mediante este equipo se cubre la determinación de la viscosidad cinemática de líquidos. Rango de viscosidad: 12- 2000000 Cp. Precisión $\pm 1\%$ del fondo de escala. No se recomienda operar el a temperaturas mayores a 100°C	
Desecador	Su propósito principal es eliminar la humedad de una sustancia, proteger la sustancia de la humedad. Capacidad 4l, diámetro interior y exterior 200mm y 270mm, altura 300mm.	

<p>Termómetro de precisión</p>	<p>Es utilizado para medir la temperatura con un alto nivel de exactitud. Puede ser parcial o totalmente inmerso en la sustancia que se está midiendo.</p>	
--------------------------------	--	---

Cuadro 5. (Continuación)

Nombre del equipo	Descripción Características	Imagen
Microscopio BX41	El BX41 permite usar todos los productos de óptica UIS, y proporciona imágenes brillantes, nítidas y de alto contraste.	
Tamices	Permite separar dos sólidos formados por partículas de tamaño diferente. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz o colador atravesándolo y las de mayor tamaño quedan retenidas por el mismo.	
Molino manual	Permite moler una pequeña cantidad de grano de cereal (almidón de papa) y convertirlo en sémola (o harina).	

2.3 METODOLOGIA

A continuación, se encuentra todo el proceso del almidón, incluidos el pretratamiento, la modificación, la verificación y la caracterización.

2.3.1 Pretratamiento del almidón. Se realiza con el fin de acondicionar la muestra para la modificación y eliminación de cualquier variable que pueda afectar el proceso, en este caso, la humedad y el contenido de pulpa (impurezas). Evitan que se pueda modificar debido a que el almidón debe encontrarse seco y puro para poder alterarse de alguna manera.

2.3.1.1 Humedad del almidón nativo¹¹. Mediante este método se logra determinar la cantidad de agua que se encuentra presente en el almidón. Para su desarrollo se pesan y rotulan 3 cajas de Petri vacías, en ellas se pesan 5g de muestra (almidón nativo) y se someten a secado en un horno de bandejas con recirculación de aire (ver cuadro 8) durante 3 horas a 105°C. Finalizado el tiempo se retiran las muestras y se llevan a un desecador durante 30 minutos. Finalmente se pesan y se realiza promedio de pesos.

El porcentaje de humedad se determina mediante la ecuación 1.

Ecuación 1. Determinación porcentaje de humedad

$$\%humedad = \frac{\text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra húmeda}} * 100$$

2.3.1.2 Contenido de pulpa en el almidón nativo¹². Mediante este método se determina el contenido de impurezas y fibra de papa que contiene el almidón sin tratar. Para su desarrollo se pesan 3g de almidón en un vaso de precipitado de 250 mL, se procede a hervir los 3g de almidón en 100 mL de HCl 0.4% durante 1 hora, posteriormente se pesa el embudo Büchner provisto de papel filtro y se filtra el líquido mediante una filtración al vacío, se agrega agua caliente al filtro con el fin de eliminar cualquier impureza presente, y finalmente se seca el embudo con el papel a 110°C en un horno de bandejas con recirculación de aire (ver cuadro 5) tomando el peso cada 2 minutos hasta que este sea constante.

El porcentaje de pulpa se determina mediante la ecuación 2.

Ecuación 2. Determinación porcentaje de pulpa

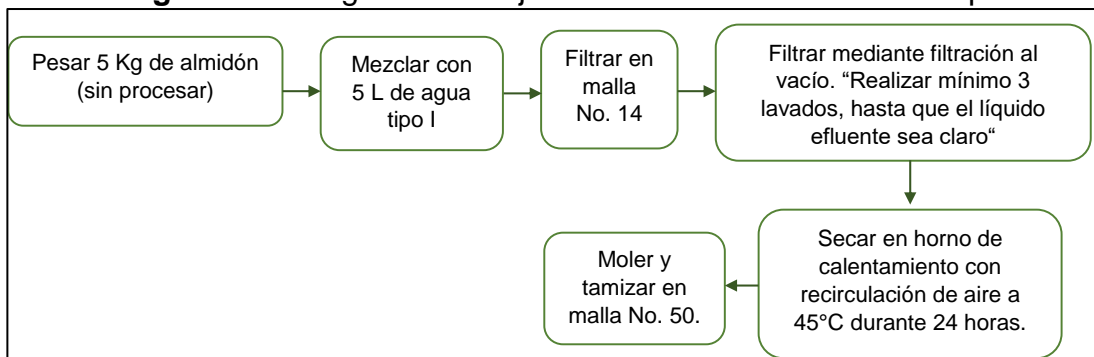
$$\%pulpa = \frac{(\text{peso embudo despues de secado} - \text{peso embudo vacío}) * 100}{\text{peso muestra analizada}}$$

¹¹ ACUÑA PINTO, Harold Mauricio. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Tesis de Especialista en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2012. p 22-23.

¹² ARISTIZÁBAL, Johanna y SÁNCHEZ, Teresa. Guía técnica producción y análisis de almidón de yuca. 1 ed. Roma, Italia: FAO, 2007. 63 p. ISBN 1020-4334.

2.3.1.3 Eliminación de humedad e impurezas.

Diagrama 1. Diagrama de flujo eliminación de humedad e impurezas



2.3.2 Modificación del almidón nativo. Después de acondicionar el almidón, se debe proceder a realizar el tratamiento, es decir, las modificaciones químicas que van a permitir que el almidón cambie su estructura y propiedades; para estos métodos de modificación se deben tener en cuenta variables como cantidad de almidón, de reactivo, el pH, la temperatura y el tiempo de reacción.

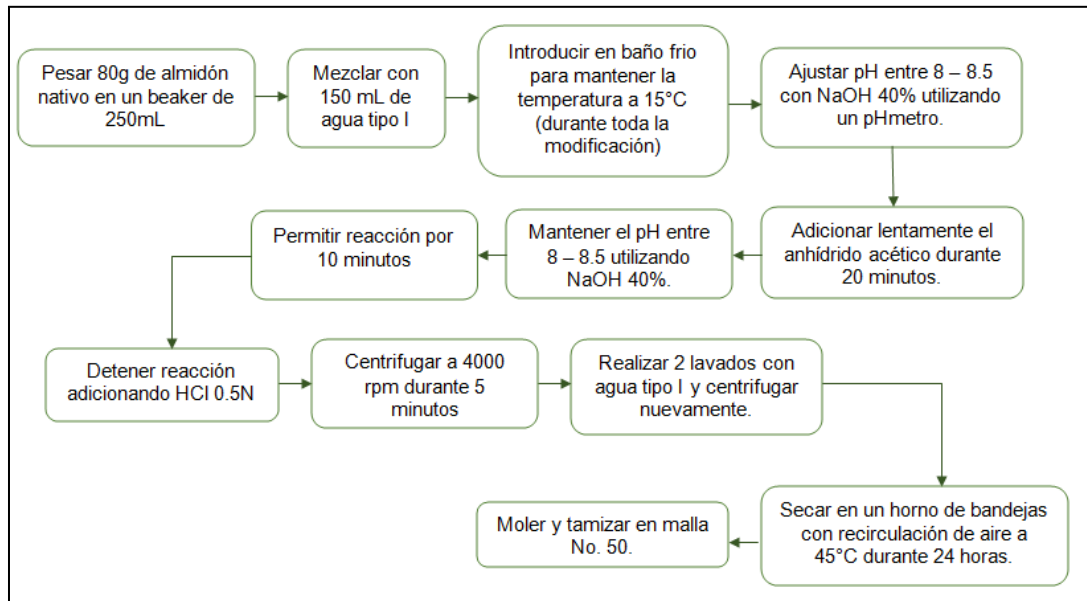
2.3.2.1 Acetilación.¹³

Cuadro 6. Condiciones de operación para la reacción de acetilación

Condiciones	Ensayo 1	Ensayo 2
Cantidad de almidón (g)	80	80
Cantidad de anhídrido acético (mL)	2.7	10
pH	8.3	8.3
Temperatura (°C)	15	15
Tiempo de reacción (min)	30	30

¹³ CARRASCAL SANCHEZ. Op. Cit., p. 14-15.

Diagrama 2. Diagrama de flujo acetilación



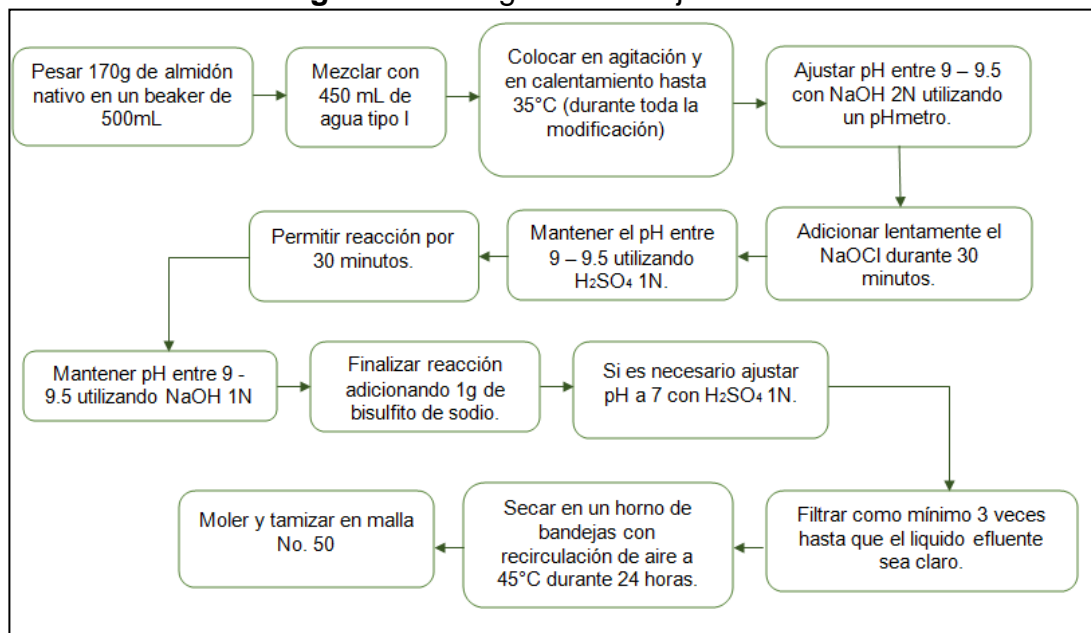
2.3.2.2 Oxidación¹⁴.

Cuadro 7. Condiciones de operación para la reacción de oxidación

Condiciones	Ensayo 3	Ensayo 4
Cantidad de almidón (g)	170	170
%cloro activo de NaOCl	0.5	1
Cantidad de NaOCl (mL)	100	100
pH	9.5	9.5
Temperatura (°C)	35	35
Tiempo de reacción (min)	60	60

¹⁴ SANCHEZ RIVERA. Op. Cit., p. 38-39.

Diagrama 3. Diagrama de flujo oxidación



2.3.3 Verificación de la modificación de almidón. A partir de los métodos enunciados a continuación se realiza la verificación de la modificación química realizada.

2.3.3.1 Espectrometría de infrarrojo. Mediante este método se realiza la identificación de los almidones, con el fin de observar las diferencias espectrales entre los almidones modificados y el almidón nativo; para lo anterior se utiliza un espectrofotómetro de infrarrojo (ver cuadro 5) el cual debe ser verificado antes de ser utilizado, comprobando que se encuentre en buen estado, luego se realiza un diagnóstico el cual examina el espectro de potencia, referido al barrido espectral del aire contenido dentro del portaceldas. Posteriormente se hace una validación con una película de poliestireno, mediante la cual se ajustan los detectores y el voltaje que permiten que se mueva el espejo móvil para efectuar el barrido espectral, con eso se asegura que el ensayo sea repetible y sensible al instrumento con respecto a los números de onda donde aparecen las bandas de vibración de la molécula y también la cantidad de transmitancia que produce esa vibración.

Finalmente se ajustan los parámetros de medición (transmitancia, rango de transmisión y resolución) según el tipo de muestra que se vaya a leer, puede ser sólida, líquida o gaseosa, luego se realiza una medida de referencia (Background), se coloca la muestra en el cristal de germanio del componente de espectroscopia de reflexión interna (ATR) y se hace prensa para obtener el barrido espectral.

2.3.3.2 Determinación de grado de sustitución. Mediante esta técnica se logra determinar la cantidad de grupos hidroxilos sustituidos.

- **Grupos acetilos¹⁵.** Mediante este proceso se determinan los grupos acetilos presentes en el almidón al ser modificado mediante acetilación. Se pesa 1 g de almidón acetilado y nativo en un Erlenmeyer de 250 mL, se agregan 50 mL de agua tipo I, 2 gotas de fenolftaleína y se neutraliza con NaOH 0.1N hasta que permanece un color ligeramente rosado, posteriormente se adicionan 25 mL de NaOH 0.45 N y se agita la suspensión con ayuda de un agitador magnético durante 30 minutos, al finalizar el tiempo se titulan las muestras con HCl 0.2N.

El porcentaje de grupos acetilos se calcula mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. Determinación de grupos acetilo

$$\%acetil = \frac{(mL\ blanco - mL\ muestra) * N\ HCl * 0.043 * 100}{gramos\ de\ la\ muestra}$$

Donde,

mL blanco: mL de HCl 0.2N gastados en la titulación del almidón nativo

mL muestra: mL de HCl 0.2N gastados en la titulación del almidón acetilado

0.043: miliequivalentes del grupo acetilo

El grado de sustitución se determina mediante la ecuación 4.

Ecuación 4. Determinación del grado de sustitución

$$Grado\ de\ sustitución = \frac{162 * \%acetil}{4300 - (42 * \%acetil)}$$

Donde,

162: peso molecular de la unidad anhidro glucosa (g/mol)

4300: 100 x peso molecular del grupo acetilo (g/mol)

42: peso molecular del grupo acetilo – 1 (g/mol)

¹⁵ RIVAS GONZÁLEZ, M; ZAMUDIO FLORES, P. B. y BELLO PÉREZ, L. A., Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. En: Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2009. Vol. 8, No. 3, p. 291-297.

- **Grupos carboxilos**¹⁶. Mediante este método se determina el grado de sustitución de grupos carboxilos presentes en el almidón oxidado. Se pesan 2 g de almidón oxidado y nativo en un vaso de precipitado de 250 mL, se adicionan 25 mL de HCl 0.1N y se mezcla con un agitador magnético durante 30 minutos. Posteriormente se filtra al vacío, y la pasta se transfiere a un Erlenmeyer de 500 mL el cual contiene 300 mL de agua tipo I. Se calienta durante 15 minutos con agitación constante. Al finalizar el tiempo se adicionan 150 mL de agua tipo I a temperatura ambiente y se permite estabilizar a una temperatura entre 34 – 39°C. Finalmente se titula a pH de 8.3 con NaOH 0.01N, utilizando un pHmetro (ver especificaciones en cuadro 5).

El porcentaje de grupos carboxilos se calcula mediante la ecuación 5.

Ecuación 5. Determinación de grupos carboxilo

$$\frac{\text{miliequivalentes de acidez}}{100 \text{ g de almidón}} = \frac{(\text{mL muestra} - \text{mL blanco}) * N \text{ NaOH} * 100}{\text{gramos de la muestra}}$$

$$\% \text{carboxilos} = \frac{\text{miliequivalentes de acidez}}{100 \text{ g de almidón}} * 0.045$$

Donde,

mL blanco: mL de NaOH 0.01N gastados en la titulación del almidón nativo

mL muestra: mL de NaOH 0.01N gastados en la titulación del almidón oxidado

0.045: miliequivalentes del grupo carboxilo

- **Grupos carbonilos**¹⁷. Mediante este método se determina el grado de sustitución de grupos carboxilos presentes en el almidón oxidado. Se pesan 4g de almidón oxidado y nativo en un vaso de precipitado de 500 mL, se adicionan 100 mL de agua tipo I, la suspensión se gelatiniza en un baño de agua hirviendo a 70°C durante 20 minutos, después se enfría a 40°C, se ajusta el pH a 3.2 con HCl 0.1N utilizando un pHmetro (ver especificaciones en cuadro 5) y se agregan 15 mL de hidroxilamina, luego se coloca en un baño de agua a 40°C con agitación lenta durante 4 horas, transcurrido el tiempo se tituló a pH de 3.2 con HCl 0.1N.

El porcentaje de grupos carbonilos se calcula mediante la ecuación 6.

¹⁶ SANCHEZ RIVERA. Op. Cit., p. 42.

¹⁷ Ibid., p. 40.

Ecuación 6. Determinación grupos carbonilo

$$\% \text{carbonilos} = \frac{(mL \text{ blanco} - mL \text{ muestra}) * N \text{ HCl} * 0.028 * 100}{\text{gramos de la muestra}}$$

Donde,

mL blanco: mL de HCl 0.1N gastados en la titulación del almidón nativo

mL muestra: mL de HCl 0.1N gastados en la titulación del almidón oxidado

0.028: miliequivalentes del grupo carbonilo

2.3.4 Caracterización del almidón. Para la caracterización del almidón se realizan las pruebas al almidón nativo, acetilado y oxidado, con el fin de establecer las diferencias que poseen los almidones entre sí, en cuanto a propiedades físicas, químicas y farmacotécnicas.

2.3.4.1 Caracterización física y química.

- **Temperatura de gelatinización**¹⁸. Mediante este método se determina la temperatura en la que una suspensión de almidón con agua al ser sometida a calentamiento se torna viscosa y forma una pasta.

Para su desarrollo se pesan 10 g de cada almidón en un vaso de precipitado de 250 mL, realizando una suspensión con 100 mL de agua tipo I, adicionalmente en un vaso de precipitado de 250 mL se calientan 100 mL de agua hasta 85°C, posterior a ello, se toman 50 mL de la suspensión de almidón en un vaso de precipitado de 100 mL y se introducen en el baño de agua caliente, finalmente se agita la suspensión constantemente con el termómetro (ver cuadro 5) hasta que se forme una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, en ese momento se toma la lectura.

- **Viscosidad**¹⁹. Puesto que el almidón es considerado un fluido no newtoniano su viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplique, por lo anterior este proceso permite medir la fuerza de torsión sobre una aguja rotante con temperatura y velocidad constante, con el fin de cuantificar la resistencia que posee a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o de tracción.

Se pesan 10g de cada almidón y se adicionan 250 mL de agua tipo I, seguido, se homogenizan las muestras, se colocan en un baño de agua a 70°C durante

¹⁸ ARISTIZÁBAL y SÁNCHEZ. Op. Cit., p. 72.

¹⁹ CARRASCAL SANCHEZ. Op. Cit., p. 17.

15 min, luego, se dejan enfriar a temperatura ambiente, para finalmente determinar la viscosidad aparente a 25°C en un viscosímetro Brookfield (ver cuadro 5) a cuatro velocidades de deformación (2, 4, 10 y 20 min⁻¹).

- **Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua**²⁰. Por medio de este método se indica el grado de asociación existente entre la amilosa y la amilopectina del almidón definido como solubilidad, además se observa y cuantifica la capacidad que tiene el almidón para retener agua y de la misma manera aumentar su volumen y peso debido a su hinchamiento.

Se pesan tubos de centrifuga vacíos y marcados, previamente calentados a 60°C, seguidamente se pesan entre 1,25 - 1,3 g de cada almidón por tubo, y se agrega 30 mL de agua tipo I precalentada a 60°C. Luego, se colocan los tubos en un baño de agua a 60°C durante 30 minutos, agitando los tubos cada 10 minutos. Al finalizar el tiempo se centrifugan las muestras a 4900 rpm durante 30 minutos. Transcurrido éste intervalo se decanta el sobrenadante de cada tubo y se toma la medida del volumen. Después se pesan los tubos de centrifuga con el gel y se toma una alícuota de 10 mL de cada sobrenadante las cuales se colocan en un vaso de precipitado de 50 mL previamente tarado (un vaso de precipitado por cada alícuota), finalmente se secan en un horno con recirculación (ver cuadro 5) de aire durante 12 horas a 70°C, y al finalizar el tiempo se pesan los vasos de precipitado nuevamente.

El índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH) se calculan mediante las ecuaciones 7, 8 y 9:

Ecuación 7. Determinación del índice de absorción de agua

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Ecuación 8. Determinación del índice de solubilidad en agua

$$ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Donde,

10: 100%/10mL de sobrenadante (%/mL)

²⁰ Ibid., p. 73.

Ecuación 9. Determinación del poder de hinchamiento

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso solubles (g)}}$$

- **Claridad en las dispersiones²¹.** Generalmente las suspensiones de almidón en agua son opacas, sin embargo, a medida que incrementa la gelatinización del almidón, la transparencia de la pasta aumenta; por tal motivo debido a la capacidad que tenga el almidón para transmitir luz al paso de un haz radiante se puede mediante este método medir su claridad o su grado de transparencia.

Se pesan 0.2 g de cada almidón en tubos de ensayo, y se adicionan 5 mL de agua tipo I; los tubos se colocan en un baño de agua a 70°C durante 30 minutos, agitándose cada 5 minutos, al finalizar el tiempo se dejan enfriar a temperatura ambiente y se determina el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nanómetros en un espectrofotómetro UV (ver cuadro 5) utilizando agua tipo I como blanco. Se almacenaron muestras a 25 y 4°C, y el porcentaje de transmitancia se midió a 24, 48 y 72 horas.

- **Estabilidad al congelamiento y descongelamiento²².** A partir de este método se cuantifica el agua separada de una suspensión de almidón, de tal manera que, a partir de esta cuantificación, se pueda observar que tan resistente a la retrogradación es una pasta de almidón sometida a congelamiento y posterior descongelamiento.

Se pesan 3 g de cada almidón en un vaso de precipitado de 100 mL, se adiciona 60 mL de agua tipo I y se somete a un ciclo de congelamiento a -5°C durante 18 horas, posteriormente se somete a un ciclo de descongelamiento a temperatura ambiente durante 6 horas, al término, las muestras se centrifugan a 3000 rpm durante 10 minutos, finalmente se pesa cada tubo de centrifuga con la muestra.

La estabilidad se determina midiendo el porcentaje de agua separada, después de someter el almidón a este ciclo mediante la ecuación 10.

Ecuación 10. Determinación del porcentaje de agua separada

$$\% \text{ agua separada} = \left(\frac{\text{peso muestra} - \text{peso muestra centrifugada}}{\text{peso muestra}} \right) * 100\%$$

²¹ CARRASCAL SANCHEZ. Op. Cit., p. 17-18.

²² Ibid., p. 18.

- **Sinéresis**²³. Mediante este método se determina el porcentaje de agua liberada de una pasta de almidón debido a la exudación de la fase acuosa. Se pesan 3g de cada almidón y se suspenden en 60 mL de agua tipo I en un vaso de precipitado de 100 mL, se gelifica la muestra a 90°C y se somete a un enfriamiento rápido hasta 25°C en un baño de agua a temperatura ambiente, posteriormente las muestras fueron almacenadas a 24, 48, 72 y 96 horas a 4°C en un refrigerador previamente ajustado a dicha temperatura.

La sinéresis se determina como el porcentaje de agua liberada (ecuación 11) después de centrifugar las muestras a 2300 rpm durante 15 minutos.

Ecuación 11. Determinación del porcentaje agua liberada

$$\%agua liberada = \left(\frac{peso muestra - peso gel}{peso muestra} \right) * 100$$

- **pH**²⁴. Mediante esta técnica se permite establecer el nivel de alcalinidad o acidez en la que se encuentra una suspensión de almidón en agua.

Se prepara una suspensión pesando 10 g de cada almidón en un vaso de precipitado de 100 mL y adicionando 50 mL de agua tipo I, se agita durante 5 minutos y se determina el pH mediante un dispositivo multiparametro (ver cuadro 5).

- **Solubilidad en agua fría y agua caliente**²⁵. Mediante este metodo se pretende cuantificar el porcentaje de solubilidad que posee el almidón nativo y modificado en agua fria y caliente, de tal manera que se pueda observar si existe algun cambio al realizar un proceso de modificación, teniendo en cuenta que el almidón es insoluble en agua fria.

Se pesa 1 g de cada almidón en un vaso de precipitado de 250 mL, se adicionan 100 mL de agua tipo I; luego, se agita cada muestra durante 2 minutos y se centrifugan a 1220 rpm durante 15 minutos, al finalizar el tiempo, se toma una alícuota de 25 mL de cada sobrenadante y se transfiere a una caja de Petri previamente pesada (una caja por cada muestra), en seguida, se secan las muestras en un horno con recirculación de aire (ver cuadro 5) a 30 y 70°C durante 24 horas, finalmente se pesan las cajas de Petri después del secado.

El porcentaje de solubilidad se calcula por diferencia de peso, mediante la ecuación 12.

²³ Ibid., p.18.

²⁴ Ibid., p.18.

²⁵ CARMONA CAMARGO y PATERNINA URZOLA. Op. Cit., p. 52.

Ecuación 12. Determinación del porcentaje de solubilidad

$$\% \text{ solubilidad} = \left(\frac{\text{peso muestra} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra}} \right) * 100\%$$

- **Contenido de humedad.** Por medio de este método se cuantifica la cantidad de agua presente en el almidón después de someterlo a proceso de modificación. El contenido de humedad se determina pesando 0.5g de cada almidón en un analizador de humedad a 140°C (ver cuadro 5).

2.3.4.2 Caracterización farmacotécnica.

- **Forma de partículas.** Mediante esta técnica se observa la forma de los gránulos de almidón, para lo anterior se utiliza un microscopio BX41 (ver cuadro 5) fijando la muestra en una escala óptica de acercamiento a 100x. Para poder observar la muestra en esta escala, se utiliza aceite de inmersión con el fin de no deteriorar el lente óptico del microscopio.
- **Tamaño partículas.** A partir de este método se puede determinar el tamaño de partícula que posee el almidón después de ser sometido a un proceso de modificación, para lo anterior se pesan los tamices No. 170, 140 y 120, luego, se pesan 40g de cada almidón y se transfieren a los tamices (uno a uno); mediante un método manual se agitan los tamices durante 10 minutos, finalmente se pesa cada tamiz con la muestra contenida en él.

El tamaño promedio de partícula se calcula mediante la ecuación 13.

Ecuación 13. Determinación del tamaño de partícula

$$\text{Tamaño de partícula} = \frac{\sum(\text{peso muestra en el tamiz} * \text{tamaño de la malla})}{\text{peso total de la muestra}}$$

- **Densidad aparente y apisonada²⁶.** Mediante esta técnica se determina la relación entre el volumen y el peso del almidón incluyendo (densidad aparente) y sin incluir (densidad apisonada) los huecos o poros que contenga.

Se introduce una cantidad de muestra (cada tipo de almidón) con una exactitud de 0.1%, suficiente para ocupar un volumen mayor o igual al 60% de volumen de una probeta seca de 5 mL, nivelando cuidadosamente el polvo, sin compactarlo y tomando la lectura del volumen aparente sin asentar.

Se calcula la densidad aparente mediante la ecuación 14.

²⁶ CARRASCAL SANCHEZ. Op. Cit. p. 21.

Ecuación 14. Determinación de la densidad aparente

$$\text{Densidad aparente (g/mL)} = \frac{\text{peso de la muestra (g)}}{\text{volumen aparente (mL)}}$$

La densidad apisonada se obtiene golpeando manualmente la probeta que contiene la muestra, y tomando lecturas del volumen hasta que permaneciera constante.

Se calcula la densidad apisonada mediante la ecuación 15.

Ecuación 15. Determinación de la densidad apisonada

$$\text{Densidad apisonada (g/mL)} = \frac{\text{peso de la muestra (g)}}{\text{volumen apisonado (mL)}}$$

- **Voluminosidad aparente y apisonada.** Este método se realizó teniendo en cuenta la densidad aparente y apisonada, y determina el volumen por gramo de almidón incluyendo (Voluminosidad aparente) y sin incluir (Voluminosidad apisonada) los huecos o poros que contenga.

Se calcula la voluminosidad aparente y apisonada mediante las ecuaciones 16 y 17.

Ecuación 16. Determinación de la voluminosidad aparente

$$\text{voluminosidad aparente (mL/g)} = \frac{1}{\text{densidad aparente (g/mL)}}$$

Ecuación 17. Determinación de la voluminosidad apisonada

$$\text{voluminosidad apisonada (mL/g)} = \frac{1}{\text{densidad apisonada (g/mL)}}$$

- **Índice de Carr e índice de Hausner.** Mediante estos índices es posible determinar la compresibilidad del almidón, este método se realiza teniendo en cuenta la densidad aparente y apisonada.

Ecuación 18. Determinación del índice de Carr

$$\text{Índice de Carr} = \frac{(\text{Densidad apisonada g/mL} - \text{Densidad aparente g/mL})}{\text{Densidad apisonada g/mL}}$$

Ecuación 19. Determinación del índice de Hausner

$$\text{Índice de Hausner} = \frac{\text{Volumen inicial (mL)}}{\text{Volumen final (mL)}}$$

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 PRETRATAMIENTO DEL ALMIDÓN

Durante el pretratamiento se acondiciona la muestra para su modificación, el primer paso es determinar la cantidad de humedad y pulpa que presenta el almidón nativo, para posteriormente eliminar estas variables y preparar el almidón para su modificación.

3.1.1 Humedad del almidón nativo. Se realiza el procedimiento descrito en el numeral 2.3.1.1, los resultados de humedad que se obtienen se presentan en porcentaje en la tabla 1 y los respectivos cálculos en el anexo C.

Tabla 1. Resultados del porcentaje de humedad del almidón nativo

No. Caja	Peso muestra humeda	Peso muestra seca	% Humedad	RSD
Caja 1	5,000	2,336	46,720	0,050
Caja 2	5,010	2,147	42,854	
Caja 3	5,000	2,340	46,800	

3.1.2 Contenido de pulpa en el almidón nativo. A partir del método descrito en el numeral 2.3.1.2, se determina el contenido de impurezas y fibra que contiene el almidón, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2, y sus respectivos cálculos en el anexo C.

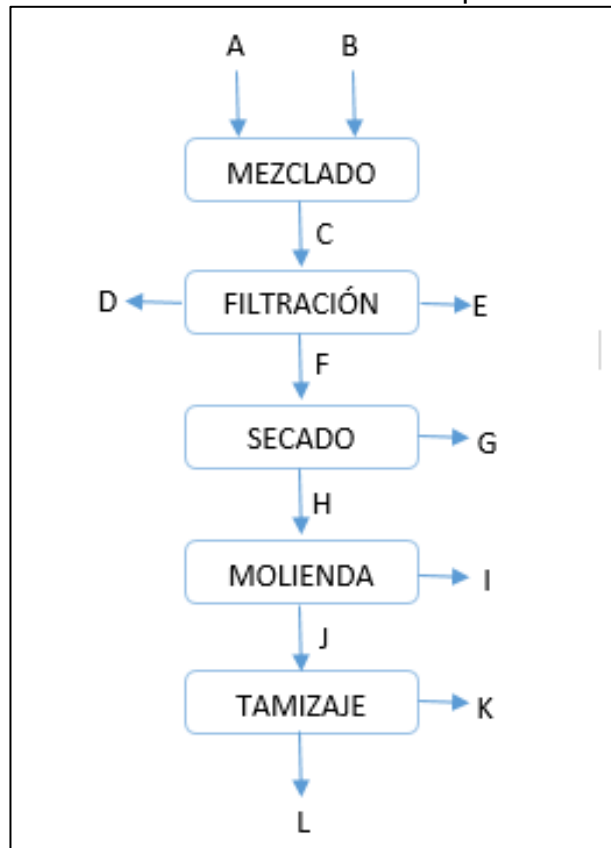
Tabla 2. Resultados del porcentaje de pulpa del almidón nativo

Datos	Prueba 1 (g)	Replica (g)
Almidón	3,000	3,010
Embudo + papel vacio	110,620	105,300
Embudo + papel con muestra despues de secado	111,030	105,710
%Pulpa	13,667	13,621
Promedio	13,644	
RSD	0,002	

3.1.3 Eliminación de humedad e impurezas. Al obtener el contenido de pulpa y humedad, se procede a eliminar estas variables, pesando 5000g de almidón nativo (sin procesar) y mezclándolo con agua tipo I, tal como lo indica el método descrito en el numeral 2.3.1.3; para cada etapa del proceso (ver diagrama de bloques en figura 10) se cuantifican los pesos en las entradas y salidas, con el propósito de determinar el balance de materia, el porcentaje de pérdidas y el rendimiento del almidón después de su pretratamiento.

En la tabla 3 y 4 se presentan los resultados del balance de materia y en el anexo D se encuentran los cálculos correspondientes.

Figura 10. Diagrama del balance de materia eliminación de humedad e impurezas.



A: Almidón sin procesar

B: Agua tipo I

C: Suspensión almidón más agua

D: Fibra de papa

E: Agua con almidón

F: Almidón filtrado

G: Perdidas por secado

H: Almidón seco

I: Perdidas en molino

J: Almidón molido

K: Perdidas en tamizaje

L: Almidón fina

Tabla 3. Resultados balance de materia

Etapas	Entradas	Cantidad	Unidad	Salidas	Cantidad	Unidad
MEZCLADO	Almidón sin procesar [A]	5000,00	g	Suspensión agua y almidón [C]	10000,00	g
	Agua tipo I [B]	5000,00	g			
FILTRACIÓN	Suspensión agua y almidón [C]	10000,00	g	Fibra de papa [D]	513,42	g
				Aqua con almidón [E]	4996,11	g
				Almidón filtrado [F]	4490,47	g
SECADO	Almidón filtrado [F]	4490,47	g	Almidón seco [H]	2355,41	g
				Perdidas por secado [G]	2135,06	g
MOLIENDA	Almidón seco [H]	2355,41	g	Perdidas en molino [I]	149,70	g
				Almidón molido [J]	2205,71	g
TAMIZAJE	Almidón molido [J]	2205,71	g	Perdidas en tamizaje [K]	353,36	g
				Almidón final [L]	1852,35	g

Tabla 4. Resultados de pérdidas y rendimiento

Etapas	Perdidas (%)
MEZCLADO	0,00
FILTRACIÓN	55,10
SECADO	47,55
MOLIENDA	6,36
TAMIZAJE	16,02
PERDIDAS TOTALES	81,48
RENDIMIENTO	18,52

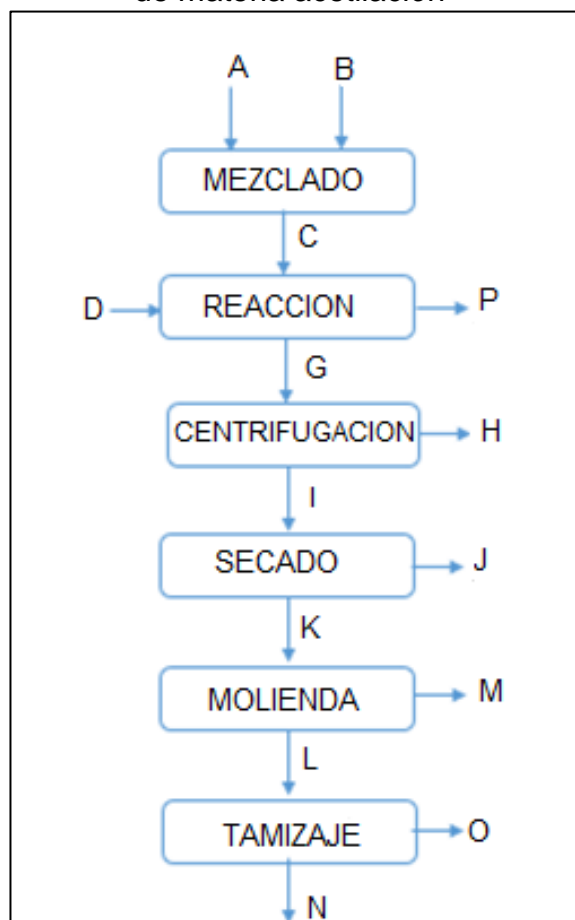
3.2 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

En este punto al obtener el almidón sin humedad ni impurezas, se procede a realizar la respectiva modificación. A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada método de modificación química.

3.2.1 Acetilación. Mediante el método descrito en el numeral 2.3.2.1, se modifica el almidón químicamente, pesando $80g \pm 0,05$ de almidón procesado y utilizando como reactivo anhídrido acético ($C_4H_6O_3$), donde se varía el volumen de 15 a 10 Ml. Cada prueba se realiza por duplicado para un total de 2 experimentos con replica, en la figura 12 se encuentra el diagrama de flujo del proceso.

Para el balance de materia (ver diagrama de bloques en figura 11) se cuantifican los pesos en las entradas y salidas de cada etapa, con el propósito de determinar el porcentaje de pérdidas, exceso y conversión del almidón (tabla 7 y 8); los resultados del balance de materia se pueden observar en la tabla 5 - 6, y los cálculos correspondientes en el anexo E.

Figura 11. Diagrama del balance de materia acetilación



A: Almidón procesado (nativo)
B: Agua tipo I
C: Suspensión de almidón y agua
D: Anhídrido acético
G: Almidón acetilado húmedo
H: Perdidas por centrifugación
I: Almidón acetilado centrifugado

J: Perdidas por secado
K: Almidón acetilado seco
L: Almidón acetilado molido
M: Perdidas por molino
N: Almidón acetilado final
O: Perdidas por tamizado
P: Ácido acético

Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de acetilación

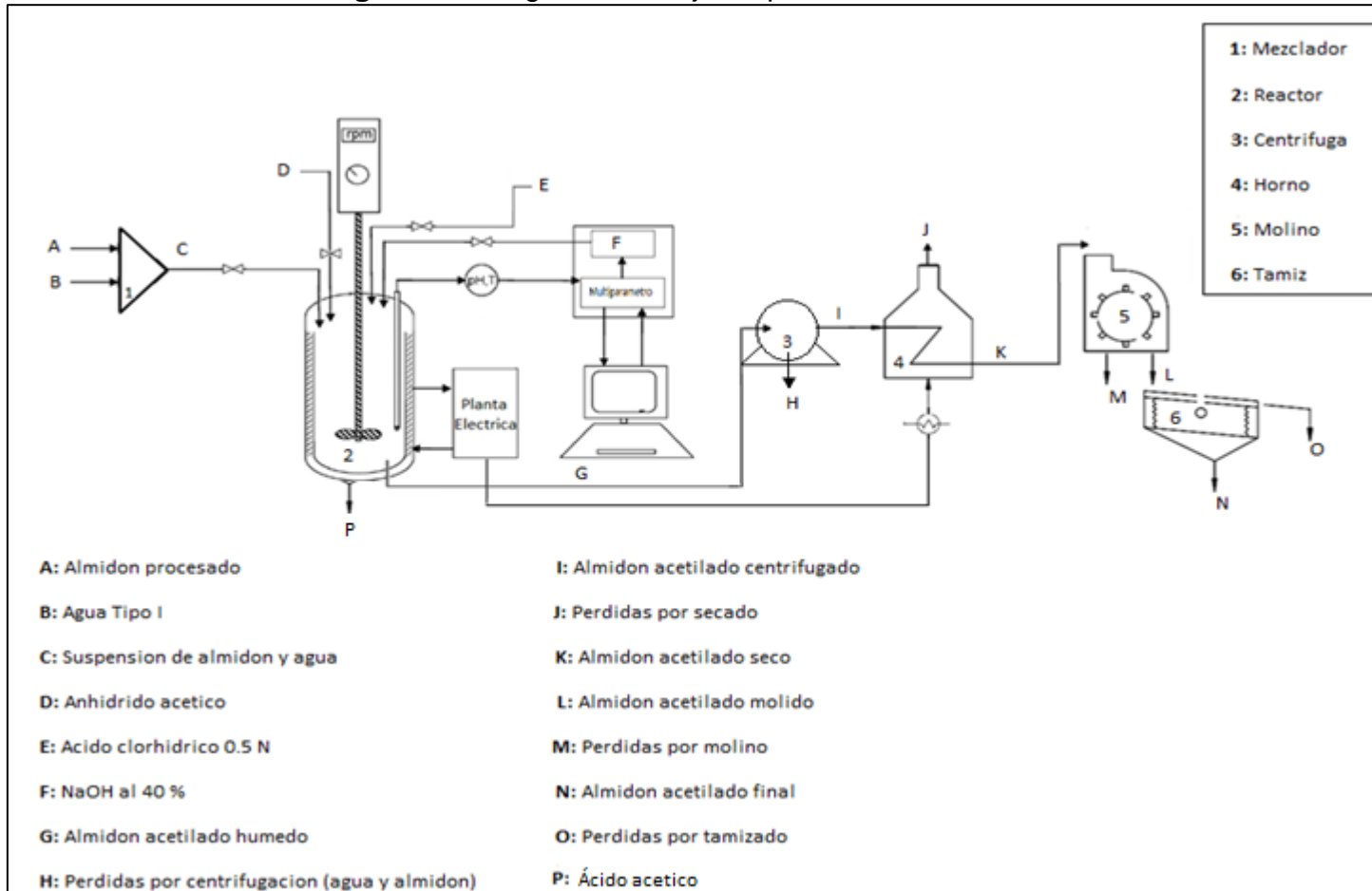


Tabla 5. Resultados balance de materia acetilación en entradas

Etapas	Entradas	Cantidad Ensayo 1	Cantidad Ensayo 1,1	Cantidad Ensayo 2	Cantidad Ensayo 2,1	Unidad
MEZCLADO	Almidón procesado [A]	80,02	80,00	80,00	80,05	g
	Aqua tipo I [B]	150,00	150,00	150,00	150,00	g
REACCIÓN	Anhidrido acetico [D]	2,92	2,92	10,80	10,80	g
	Suspensión agua y almidón [C]	230,02	230,00	230,00	230,05	g
CENTRIFUGACIÓN	Almidón acetilado humedo [G]	231,22	231,20	234,45	234,50	g
SECADO	Almidón acetilado filtrado [I]	64,15	66,62	63,45	63,16	g
MOLIENDA	Almidón acetilado seco [K]	33,75	35,79	36,56	33,11	g
TAMIZAJE	Almidón acetilado molido [L]	31,34	33,26	34,12	30,42	g

Tabla 6. Resultados balance de materia acetilación en salidas

Etapas	Salidas	Cantidad Ensayo 1	Cantidad Ensayo 1,1	Cantidad Ensayo 2	Cantidad Ensayo 2,1	Unidad
MEZCLADO	Suspensión agua y almidón [C]	230,02	230,00	230,00	230,05	g
REACCIÓN	Almidón acetilado humedo [G]	231,22	231,20	234,45	234,50	g
	ácido acético [P]	1,72	1,72	6,35	6,35	g
CENTRIFUGACIÓN	Perdidas por filtración [H]	167,07	164,58	171,00	171,34	g
	Almidón acetilado filtrado [I]	64,15	66,62	63,45	63,16	g
SECADO	Almidón acetilado seco [K]	33,75	35,79	36,56	33,11	g
	Perdidas por secado [J]	30,40	30,83	26,89	30,05	g
MOLIENDA	Perdidas en molino [M]	2,41	2,53	2,44	2,69	g
	Almidón acetilado molido [L]	31,34	33,26	34,12	30,42	g
TAMIZAJE	Perdidas por tamizado [O]	2,73	2,94	10,23	10,02	g
	Almidón acetilado final [N]	28,61	30,32	23,89	20,40	g
PROMEDIO	Almidón acetilado final [N]		29,47		22,15	g
RSD	Almidón acetilado final [N]		0,04		0,11	g

Ecuación 20. Reacción de acetilación durante la modificación

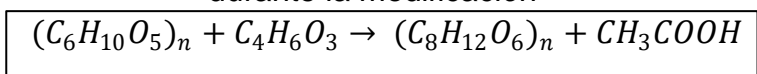


Tabla 7. Porcentaje de pérdidas por etapas en acetilación

Etapas	Ensayo 1	Ensayo 1,1	Ensayo 2	Ensayo 2,1
	Perdidas	Perdidas	Perdidas	Perdidas
MEZCLADO	0,00	0,00	0,00	0,00
REACCIÓN	0,74	0,74	2,64	2,64
FILTRACIÓN	72,26	71,19	72,94	73,07
SECADO	47,39	46,28	42,38	47,58
MOLIENDA	7,14	7,07	6,67	8,12
TAMIZAJE	8,71	8,84	29,98	32,94
PERDIDAS TOTALES	88,83	88,09	94,31	95,83
PROMEDIO	88,46		95,07	
RSD	0,01		0,01	

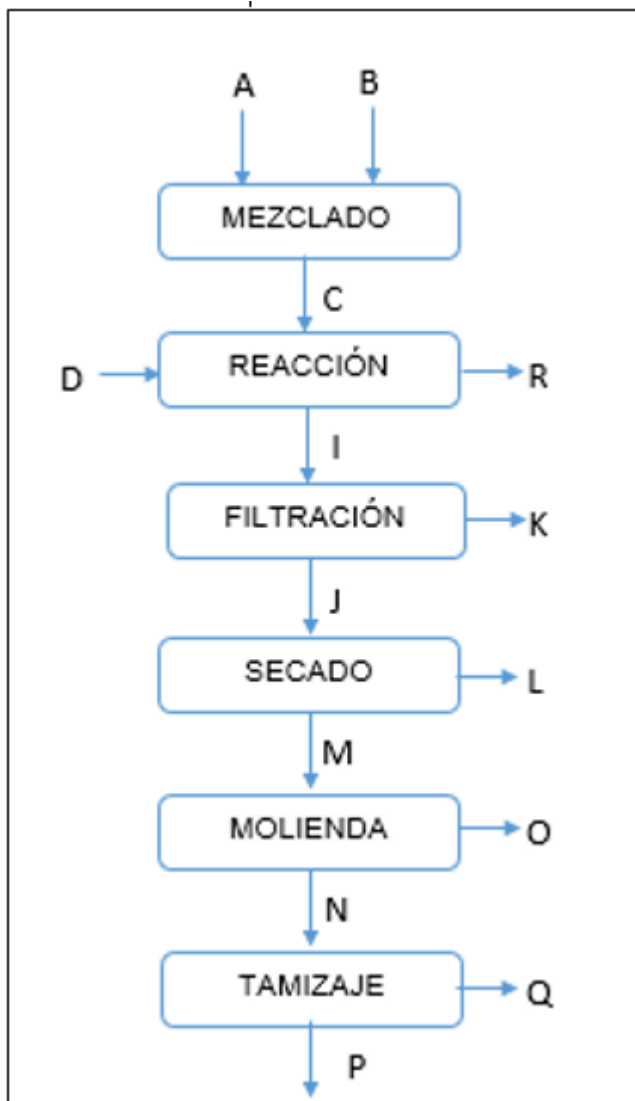
Tabla 8. Porcentaje de conversión del almidón nativo en acetilación

Ensayo	% Conversión	Promedio (%)
ENSAYO 1	6,12	6,12
ENSAYO 1.1	6,12	
ENSAYO 2	26,53	26,53
ENSAYO 2.1	26,53	

3.2.2 Oxidación. A partir del método descrito en el numeral 2.3.2.2, se modifica el almidón químicamente mediante oxidación pesando $170 \pm 0,05$ g de almidón procesado, utilizando como reactivo hipoclorito de sodio (NaOCl) al 0,5% y 1% de cloro activo, además se realiza cada prueba por duplicado para un total de 2 experimentos con replica, en la figura 13 se encuentra el diagrama de flujo de proceso.

Para el balance de materia (ver diagrama de bloques figura 14) se cuantifican los pesos en las entradas y salidas de cada etapa, con el propósito de determinar el porcentaje de pérdidas, exceso y conversión del almidón (tabla 11 y 12); los resultados se pueden observar en la tabla 9 - 10 y los cálculos correspondientes en el anexo F.

Figura 13. Diagrama balance de materia oxidación.



A: Almidón procesado (nativo)

B: Agua tipo I

C: Suspensión de almidón y agua

I: Almidón oxidado húmedo

J: Almidón oxidado filtrado

K: Perdidas por filtración

L: Perdidas por secado

R: Cloruro de sodio + Hidrogeno

M: Almidón oxidado seco

N: Almidón oxidado molino

O: Perdidas por molino

Q: Perdidas en tamizaje

P: Almidón oxidado final

Figura 14. Diagrama de flujo de proceso de oxidación

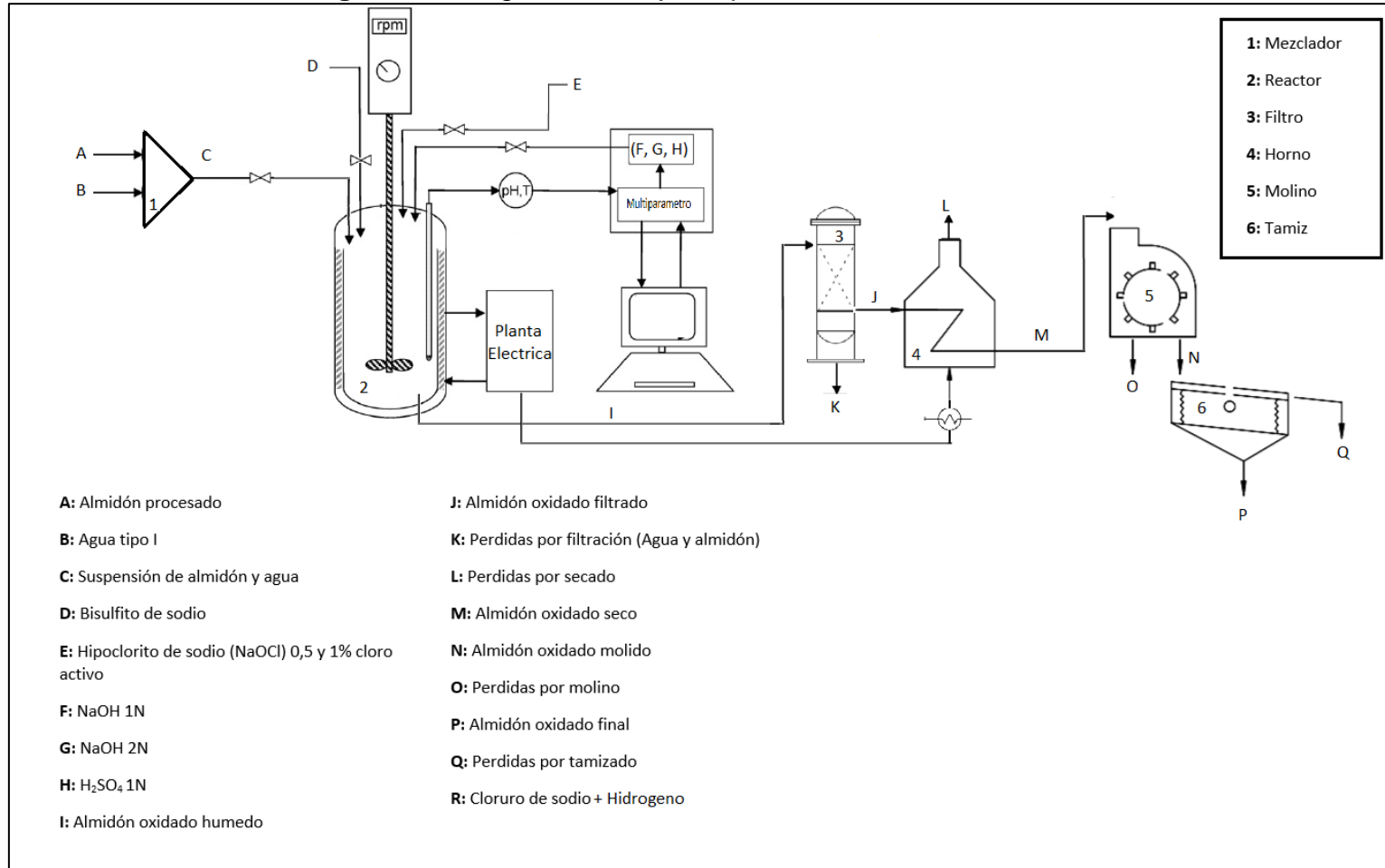


Tabla 9. Resultados balance de materia oxidación en entradas

Etapas	Entradas	Cantidad Ensayo 3	Cantidad Ensayo 3,1	Cantidad Ensayo 4	Cantidad Ensayo 4,1	Unidad
MEZCLADO	Almidón procesado [A]	170,03	170,04	170,09	170,03	g
	Agua tipo I [B]	450,00	450,00	450,00	450,00	g
REACCIÓN	NaOCl [D]	0,56	0,56	1,11	1,11	g
	Suspensión agua y almidón [C]	620,03	620,04	620,09	620,03	g
FILTRACIÓN	Almidón oxidado humedo [I]	620,14	620,14	620,30	620,24	g
SECADO	Almidón oxidado filtrado [J]	45,61	45,50	158,15	159,00	g
MOLIENDA	Almidón oxidado seco [M]	22,54	20,41	96,32	97,81	g
TAMIZAJE	Almidón oxidado molido [N]	14,31	13,65	93,08	93,92	g

Tabla 10. Resultados balance de materia oxidación en salidas

Etapas	Salidas	Cantidad Ensayo 3	Cantidad Ensayo 3,1	Cantidad Ensayo 4	Cantidad Ensayo 4,1	Unidad
MEZCLADO	Suspensión agua y almidón [C]	620,03	620,04	620,09	620,03	g
	Almidón oxidado humedo [I]	620,14	620,14	620,30	620,24	g
REACCIÓN	Hidrogeno (H ₂) [R]	0,02	0,02	0,03	0,03	g
	Cloruro de sodio (NaCl) [R]	0,44	0,44	0,87	0,87	g
FILTRACIÓN	Perdidas por filtración [K]	574,53	574,64	462,15	461,24	g
	Almidón oxidado filtrado [J]	45,61	45,50	158,15	159,00	g
SECADO	Almidón oxidado seco [M]	22,54	20,41	96,32	97,81	g
	Perdidas por secado [L]	23,07	25,09	61,83	61,19	g
MOLIENDA	Perdidas en molino [O]	8,23	6,76	3,24	3,89	g
	Almidón oxidado molido [N]	14,31	13,65	93,08	93,92	g
TAMIZAJE	Perdidas por tamizado [Q]	5,20	3,04	39,16	37,90	g
	Almidón oxidado final [P]	9,11	10,61	53,92	56,02	g
PROMEDIO	Almidón oxidado final [P]		9,86		54,97	g
%RSD	Almidón oxidado final [P]		0,11		0,03	g

Ecuación 21. Reacción de oxidación durante la modificación

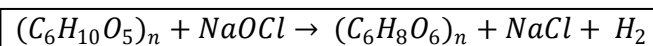


Tabla 11. Porcentaje de pérdidas por etapas en oxidación

Etapas	Pérdidas			
	Ensayo 3	Ensayo 3,1	Ensayo 4	Ensayo 4,1
MEZCLADO	0,000	0,000	0,000	0,000
REACCIÓN	0,073	0,074	0,145	0,145
FILTRACIÓN	92,645	92,663	74,504	74,365
SECADO	50,581	55,143	39,096	38,484
MOLIENDA	36,513	33,121	3,364	3,977
TAMIZAJE	36,338	22,271	42,071	40,353
PERDIDAS TOT.	98,621	98,379	91,483	91,144
PROMEDIO		98,500		91,314
RSD		0,002		0,003

Tabla 12. Porcentaje de conversión y exceso del almidón nativo en oxidación

Ensayo	% Conversión	Promedio (%)	RSD	% Exceso
ENSAYO 3	0,86	0,86	0,00	5,00
ENSAYO 3.1	0,86			
ENSAYO 4	1,62	1,67	0,04	
ENSAYO 4.1	1,71			

3.3 VERIFICACIÓN DE LA MODIFICACIÓN

Mediante esta verificación, se corrobora la modificación del almidón, para lo cual se utilizan los métodos presentados en el numeral 2.3.3, obteniendo para cada método los resultados presentados a continuación.

3.3.1 Espectrometría de infrarrojo. Este método se le realiza al almidón nativo, acetilado y oxidado con el fin de verificar la modificación y comparar los espectros contra el del almidón sin modificar. Para la acetilación, se presentan picos o modificaciones en las bandas 1230 cm^{-1} , $1700 - 1750\text{ cm}^{-1}$ y $3000 - 4000\text{ cm}^{-1}$, y para la oxidación no se presentan cambios con respecto al almidón nativo, sin embargo se señalan las bandas $1700 - 1750$ y $3000 - 4000$ las cuales deben presentar cambios si el almidón oxida.

En las figuras 15 a 18 se presenta de manera comparativa los resultados obtenidos.

Figura 15. Espectro IR ensayo 1 acetilación

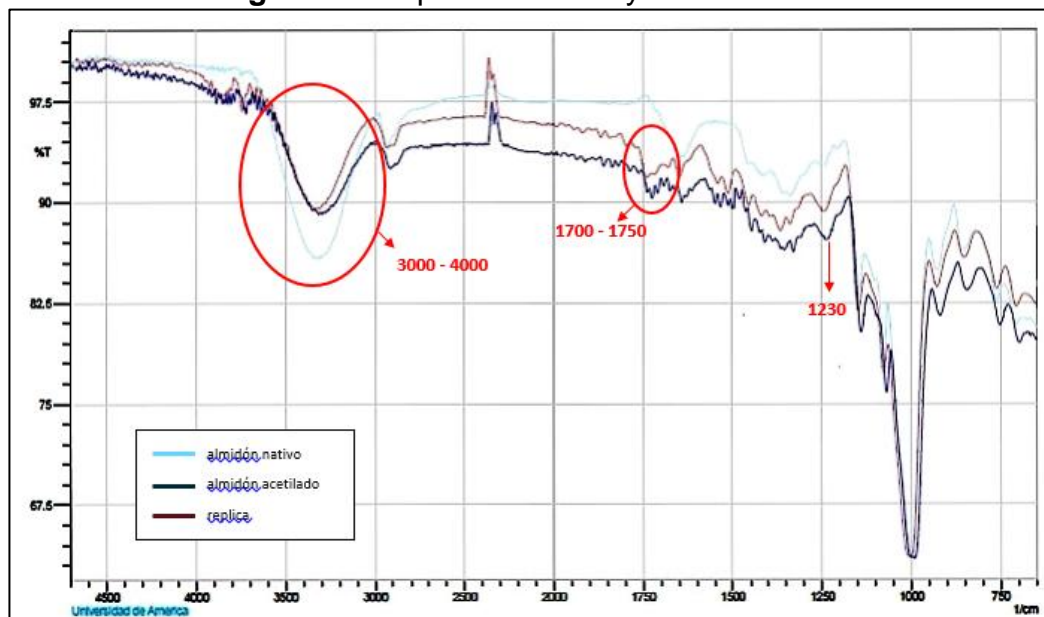


Figura 16. Espectro IR ensayo 2 acetilación

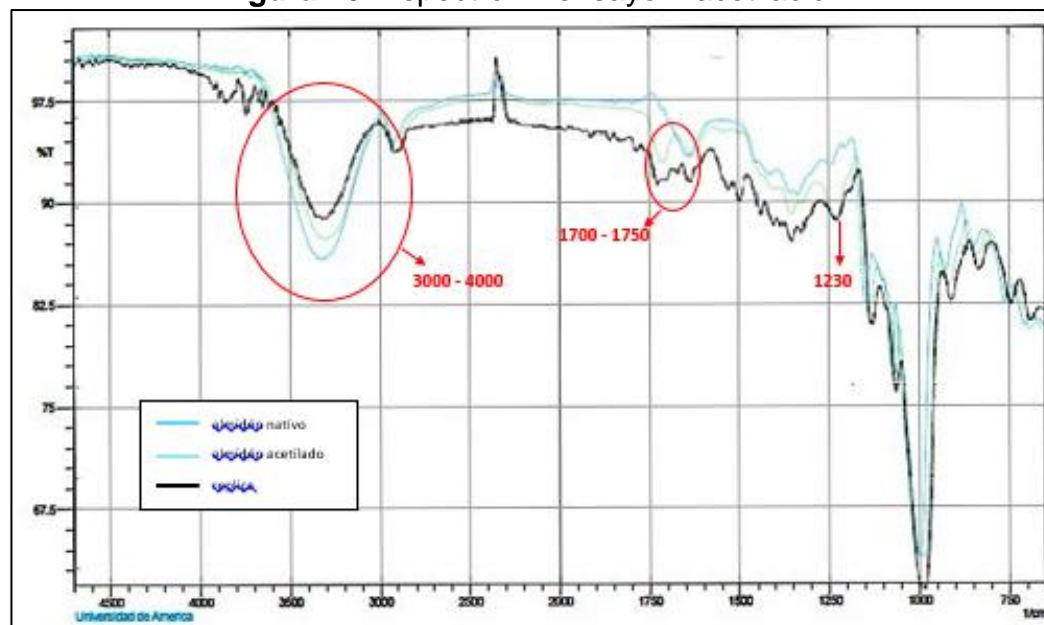


Figura 17. Espectro IR ensayo 3 oxidación

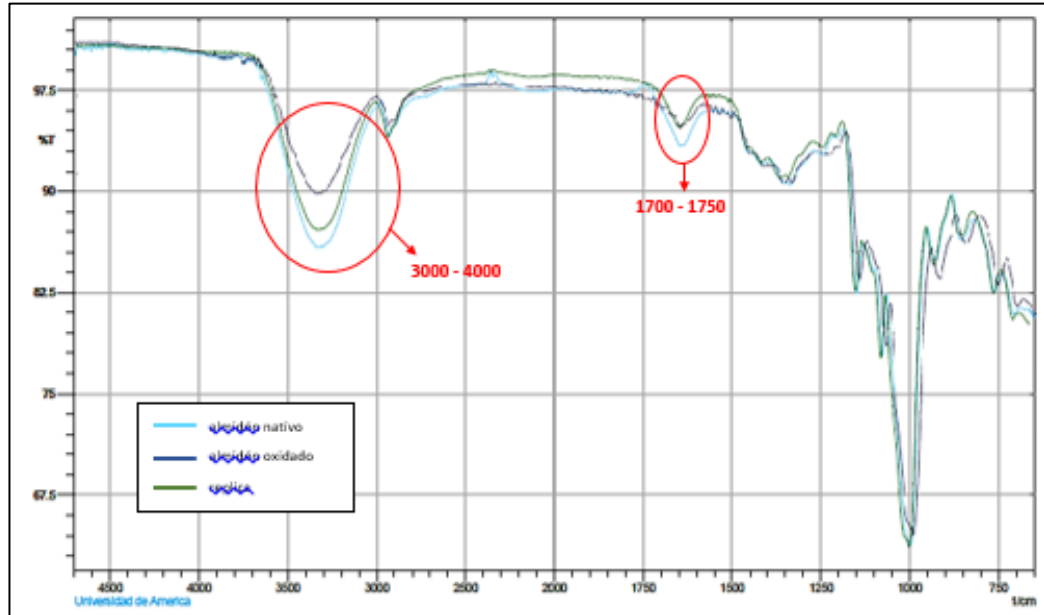
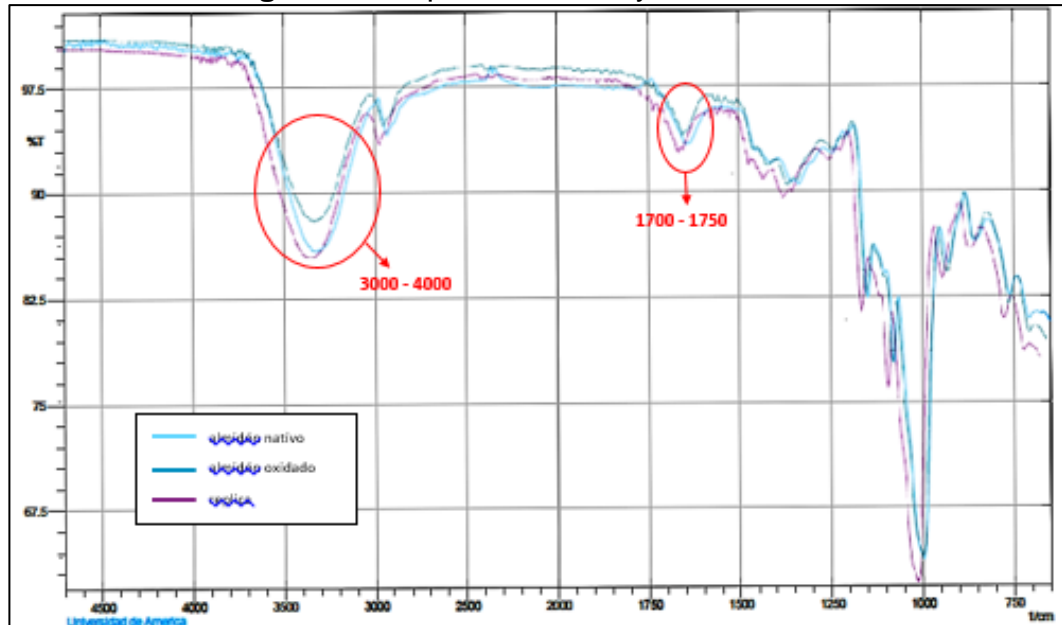


Figura 18. Espectro IR ensayo 4 oxidación



3.3.2 Determinación de grado de sustitución. Los resultados del grado de sustitución se presentan por método de modificación:

3.3.2.1 Acetilación.

- **Grupos acetilos**

A continuación, en las Tabla 13 y 14 se encuentran los valores obtenidos de porcentaje de acetilos (%acetil) y grado de sustitución, los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo G.

Tabla 13. Resultados porcentaje de acetilos para acetilación

Datos	mL anhídrido acético	% Acetil	Promedio (%)	RSD
ALMIDON NATIVO 1	0,00	0,00	0,00	0,00
ALMIDON NATIVO 2	0,00	0,00		
ENSAYO 1	2,70	0,51	0,52	0,01
ENSAYO 1.1	2,70	0,52		
ENSAYO 2	10,00	0,85	0,86	0,01
ENSAYO 2.1	10,00	0,86		

Tabla 14. Resultados grado de sustitución para acetilación

Datos	mL anhídrido acético	Grado de sustitución (GS)	Promedio	RSD
ALMIDON NATIVO 1	0,000	0,000	0,000	0,000
ALMIDON NATIVO 2	0,000	0,000		
ENSAYO 1	2,700	0,019	0,020	0,014
ENSAYO 1.1	2,700	0,020		
ENSAYO 2	10,000	0,032	0,032	0,008
ENSAYO 2.1	10,000	0,033		

3.3.2.2 Oxidación

- **Grupos carboxilos**

En la Tabla 15 se encuentran los resultados obtenidos de porcentaje de carboxilos equivalente al grado de sustitución (GS), los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo G.

Tabla 15. Resultados porcentaje grupos carboxilo (GS) de oxidación

Datos	NaOCl (% cloro activo)	% Carboxilos	Promedio	RSD
ALMIDON NATIVO 1	0,000	0,000	0,000	0,000
ALMIDON NATIVO 2	0,000	0,000		
ENSAYO 3	0,500	0,002	0,0045	0,780
ENSAYO 3.1	0,500	0,007		
ENSAYO 4	1,000	0,043	0,044	0,031
ENSAYO 4.1	1,000	0,045		

- **Grupos carbonilos**

En la Tabla 16 se encuentran los resultados obtenidos de porcentaje de carbonilos equivalente al grado de sustitución (GS), los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo G.

Tabla 16. Resultados porcentaje grupos carbonilo (GS) de oxidación

Datos	NaOCl (% cloro activo)	% Carbonilos	Promedio (%)	RSD
ALMIDON NATIVO 1	0,000	0,000	0,000	0,000
ALMIDON NATIVO 2	0,000	0,000		
ENSAYO 3	0,500	0,000	0,000	0,000
ENSAYO 3.1	0,500	0,000		
ENSAYO 4	1,000	0,014	0,016	0,137
ENSAYO 4.1	1,000	0,017		

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

A partir de los métodos enunciados en el numeral 2.3.4, se realiza la caracterización física, química y farmacotécnica del almidón nativo y los almidones modificados, los resultados se presentan por cada método de caracterización presentados a continuación.

3.4.1 Caracterización física y química

3.4.1.1 Temperatura de gelatinización. La tabla 17 muestra los resultados obtenidos para la temperatura de gelatinización para cada uno de los almidones.

Tabla 17. Resultados de temperatura de gelatinización para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Temperatura de gelatinización (°C)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	54	54	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	54		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	62	61	0,02
	ENSAYO 1.1	60		
	ENSAYO 2	55		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	57	60,5	0,03
	ENSAYO 4	61		
	ENSAYO 4.1	60		

3.4.1.2 Viscosidad. La tabla 18 - 21 presenta los resultados obtenidos de viscosidad a diferentes velocidades de deformación (2, 4, 10 y 20 min^{-1}).

Tabla 18. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 2 min^{-1} para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Viscosidad $\text{cP } 2 \text{ min}^{-1}$	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	24768,0	24768,0	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	24768,0		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	34562,0	34729,5	0,01
	ENSAYO 1.1	34897,0		
	ENSAYO 2	36521,0		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	35562,0	36041,5	0,02
	ENSAYO 4	22251,0		
	ENSAYO 4.1	22841,0		

Tabla 19. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 4 min^{-1} para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Viscosidad $\text{cP } 4 \text{ min}^{-1}$	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	12326,0	12326,0	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	12326,0		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	16203,0	16100,5	0,01
	ENSAYO 1.1	15998,0		
	ENSAYO 2	24652,0		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	25124,0	24888,0	0,01
	ENSAYO 4	10964,0		
	ENSAYO 4.1	10856,0		

Tabla 20. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 10 min^{-1} para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Viscosidad cP 10 min^{-1}	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	6978,0	6978,0	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	6978,0		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	5981,0	6151,0	0,04
	ENSAYO 1.1	6321,0		
	ENSAYO 2	8596,0	8329,5	0,05
	ENSAYO 2.1	8063,0		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	6994,0	6994,5	0,00
	ENSAYO 4.1	6995,0		

Tabla 21. Resultados de viscosidad a velocidades de deformación de 20 min^{-1} para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Viscosidad cP 20 min^{-1}	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	3326,0	3326,0	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	3326,0		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1625,0	1428,0	0,20
	ENSAYO 1.1	1231,0		
	ENSAYO 2	4520,0	4865,0	0,10
	ENSAYO 2.1	5210,0		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	3268,0	3294,5	0,01
	ENSAYO 4.1	3321,0		

3.4.1.3 Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua. La Tabla 22 - 24 presenta los resultados de poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua, los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo J.

Tabla 22. Resultados del poder de hinchamiento para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Poder de hinchamiento	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	16,203	16,203	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	16,203		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	17,703	17,695	0,001
	ENSAYO 1.1	17,688		
	ENSAYO 2	19,034	19,106	0,005
	ENSAYO 2.1	19,177		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	18,113	18,175	0,005
	ENSAYO 4.1	18,238		

Tabla 23. Resultados de solubilidad en agua para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Solubilidad en agua (%)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	9,784	9,784	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	9,784		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	10,021	10,077	0,008
	ENSAYO 1.1	10,134		
	ENSAYO 2	12,132		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	12,000	12,066	0,008
	ENSAYO 4	11,710		
	ENSAYO 4.1	11,542		

Tabla 24. Resultados de absorción de agua para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Absorción en agua (g gel/ g almidón)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	15,167	15,167	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	15,167		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	16,571	16,564	0,001
	ENSAYO 1.1	16,558		
	ENSAYO 2	17,663		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	17,798	17,730	0,005
	ENSAYO 4	16,811		
	ENSAYO 4.1	16,925		

3.4.1.4 Claridad en las dispersiones. Las Tabla 25 - 32 presenta los resultados de claridad en las dispersiones o pasta en valor de porcentaje de transmitancia (%T).

Tabla 25. Resultados de porcentaje de transmitancia a 4°C durante 0 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		4 °C		
Tiempo		0 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	3,241	3,241	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	3,241		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	3,832	3,696	0,05
	ENSAYO 1.1	3,559		
	ENSAYO 2	4,024		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	4,156	4,090	0,02
	ENSAYO 4	2,563		
	ENSAYO 4.1	3,314		

Tabla 26. Resultados de transmitancia a 25°C durante 0 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		25 °C		
Tiempo		0 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	3,241	3,241	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	3,241		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	3,832	3,696	0,05
	ENSAYO 1.1	3,559		
	ENSAYO 2	4,024		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	4,156	4,090	0,02
	ENSAYO 4	2,563		
	ENSAYO 4.1	3,314		

Tabla 27. Resultados de transmitancia a 4°C durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		4 °C		
Tiempo		24 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,277	0,277	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,277		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,293	1,433	0,14
	ENSAYO 1.1	1,572		
	ENSAYO 2	1,868		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	1,902	1,885	0,01
	ENSAYO 4	0,500		
	ENSAYO 4.1	0,470		

Tabla 28. Resultados de transmitancia a 25°C durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		25 °C		
Tiempo		24 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,446	0,446	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,446		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,988	2,463	0,27
	ENSAYO 1.1	2,937		
	ENSAYO 2	3,638		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	3,985	3,812	0,06
	ENSAYO 4	0,379		
	ENSAYO 4.1	1,917		

Tabla 29. Resultados de transmitancia a 4°C durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		4 °C		
Tiempo		48 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,302	0,302	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,302		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,822	1,090	0,35
	ENSAYO 1.1	1,357		
	ENSAYO 2	0,953		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	0,996	0,975	0,03
	ENSAYO 4	0,475		
	ENSAYO 4.1	0,395		

Tabla 30. Resultados de transmitancia a 25°C durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		25 °C		
Tiempo		48 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,414	0,414	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,414		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,993	2,464	0,27
	ENSAYO 1.1	2,935		
	ENSAYO 2	3,249		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	3,976	3,612	0,14
	ENSAYO 4	0,324		
	ENSAYO 4.1	3,544		

Tabla 31. Resultados de transmitancia a 4°C durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		4 °C		
Tiempo		72 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,104	0,104	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,104		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,853	0,812	0,07
	ENSAYO 1.1	0,771		
	ENSAYO 2	0,595		
OXIDACIÓN	ENSAYO 2.1	0,613	0,604	0,02
	ENSAYO 4	0,322		
	ENSAYO 4.1	0,887		

Tabla 32. Resultados de transmitancia a 25°C durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		25 °C		
Tiempo		72 Horas		
Metodo	Ensayos	% Transmitancia	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,399	0,399	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,399		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	2,281	2,476	0,11
	ENSAYO 1.1	2,671		
	ENSAYO 2	2,583	2,530	0,03
	ENSAYO 2.1	2,478		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,297	1,130	1,04
	ENSAYO 4.1	1,964		

3.4.1.5 Estabilidad al congelamiento y descongelamiento. La tabla 35 muestra los resultados obtenidos para la estabilidad al congelamiento y descongelamiento para cada uno de los almidones. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo L.

Tabla 33. Resultados de porcentaje de agua separada para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	% Agua separada	Promedio (%)	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	36,89	36,89	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	36,89		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	34,67	35,57	0,04
	ENSAYO 1.1	36,46		
	ENSAYO 2	35,41	36,70	0,05
	ENSAYO 2.1	37,98		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	38,06	36,08	0,08
	ENSAYO 4.1	34,10		

3.4.1.6 Sinéresis. El comportamiento presentado por los almidones en esta prueba, se observa en las tablas 34 - 37. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo M.

Tabla 34. Resultados de sinéresis durante 24 horas para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	24 Horas		
		% Agua Liberada	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	28,560	28,560	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	28,560		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	4,940	5,685	0,185
	ENSAYO 1.1	6,430		
	ENSAYO 2	3,240	3,720	0,182
	ENSAYO 2.1	4,200		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	17,660	16,870	0,066
	ENSAYO 4.1	16,080		

Tabla 35. Resultados de sinéresis durante 48 horas para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	48 Horas		
		% Agua Liberada	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	37,990	37,990	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	37,990		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	32,150	31,920	0,010
	ENSAYO 1.1	31,690		
	ENSAYO 2	27,560	27,315	0,013
	ENSAYO 2.1	27,070		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	32,640	33,365	0,031
	ENSAYO 4.1	34,090		

Tabla 36. Resultados de sinéresis durante 72 horas para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	72 Horas		
		% Agua Liberada	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	42,010	42,010	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	42,010		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	35,260	35,265	0,000
	ENSAYO 1.1	35,270		
	ENSAYO 2	30,890	31,055	0,008
	ENSAYO 2.1	31,220		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	36,440	36,395	0,002
	ENSAYO 4.1	36,350		

Tabla 37. Resultados de sinéresis durante 96 horas para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	96 Horas		
		% Agua Liberada	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	41,660	41,660	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	41,660		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	29,980	30,080	0,005
	ENSAYO 1.1	30,180		
	ENSAYO 2	33,360	33,210	0,006
	ENSAYO 2.1	33,060		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	37,340	37,405	0,002
	ENSAYO 4.1	37,470		

3.4.1.7 pH. La tabla 38 presenta los resultados obtenidos de pH para cada uno de los almidones.

Tabla 38. Resultados de pH para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	pH	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	4,28	4,28	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	4,28		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	6,58	6,50	0,02
	ENSAYO 1.1	6,42		
	ENSAYO 2	6,52	6,49	0,01
	ENSAYO 2.1	6,45		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	7,22	7,10	0,02
	ENSAYO 4.1	6,98		

3.4.1.8 Solubilidad en agua fría y caliente. Los valores del porcentaje de solubilidad del almidón nativo y modificado en agua fría (30°C) y agua caliente (70°C), se presenta en la tabla 39 y 40. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo O.

Tabla 39. Resultados de porcentaje de solubilidad a 30°C para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		30 °C		
Metodo	Ensayos	% Solubilidad	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,1455	0,1455	0,0000
	ALMIDON NATIVO 2	0,1455		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,1736	0,1767	0,0245
	ENSAYO 1.1	0,1797		
	ENSAYO 2	0,2211	0,2197	0,0086
	ENSAYO 2.1	0,2184		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,1481	0,1485	0,0042
	ENSAYO 4.1	0,1490		

Tabla 40. Resultados de porcentaje de solubilidad a 70°C para almidón nativo y almidones modificados

Temperatura		70°C		
Metodo	Ensayos	% Solubilidad	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,9669	0,9669	0,0000
	ALMIDON NATIVO 2	0,9669		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,9701	0,9727	0,0038
	ENSAYO 1.1	0,9754		
	ENSAYO 2	0,9917	0,9912	0,0007
	ENSAYO 2.1	0,9907		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,9693	0,9692	0,0001
	ENSAYO 4.1	0,9691		

3.4.1.9 Contenido de humedad. La tabla 41 muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad para cada uno de los almidones.

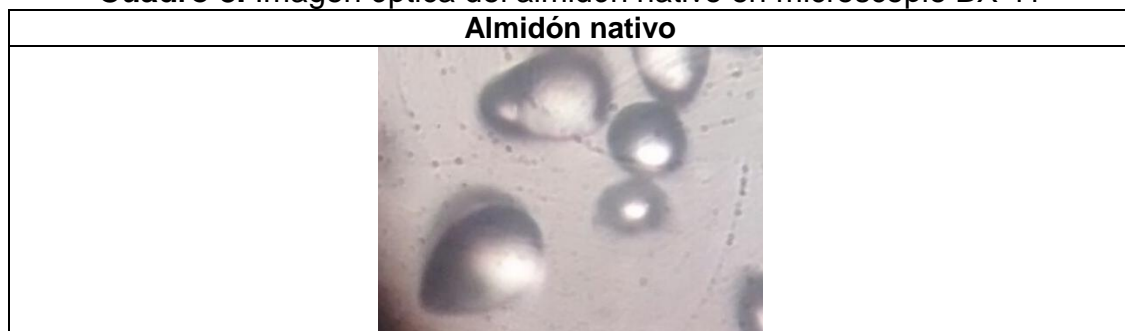
Tabla 41. Resultados de contenido de humedad para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Contenido de humedad	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	8,21	8,21	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	8,21		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	10,98	10,93	0,01
	ENSAYO 1.1	10,87		
	ENSAYO 2	11,47	11,52	0,01
ENSAYO 2.1	11,56			
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	10,07	10,03	0,01
	ENSAYO 4.1	9,98		

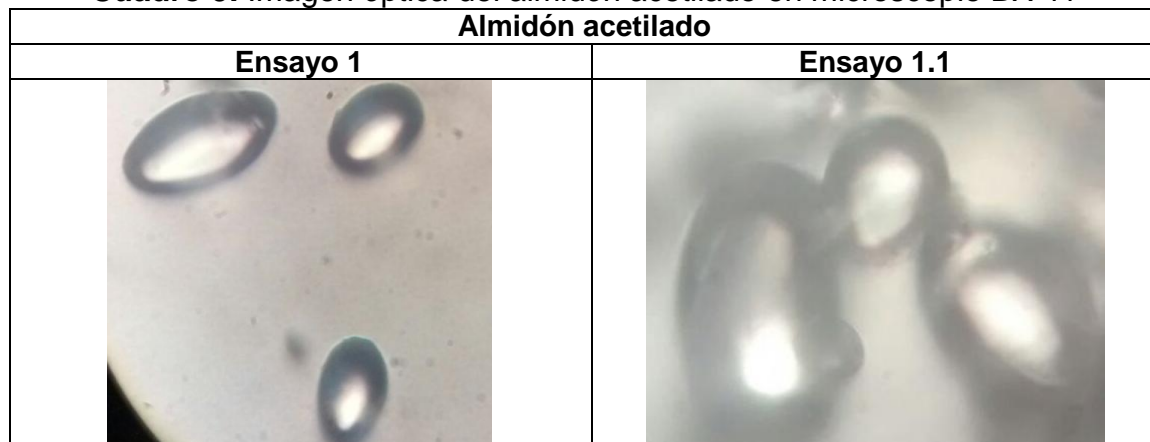
3.4.2 Caracterización farmacotécnica.

3.4.2.1 Forma de partículas. En el cuadro 8 - 10 se encuentran las imágenes que se obtienen del microscopio BX 41 para el almidón nativo, acetilado y oxidado a una escala óptica de acercamiento a 100x.

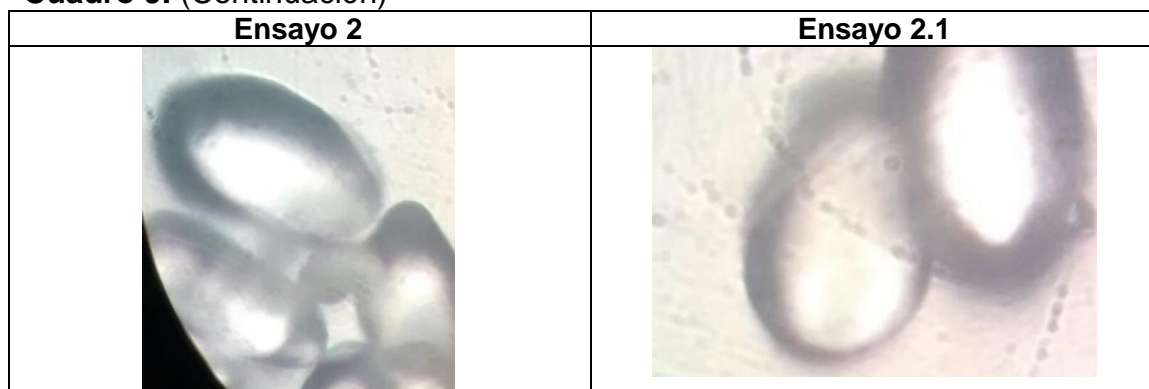
Cuadro 8. Imagen óptica del almidón nativo en microscopio BX 41



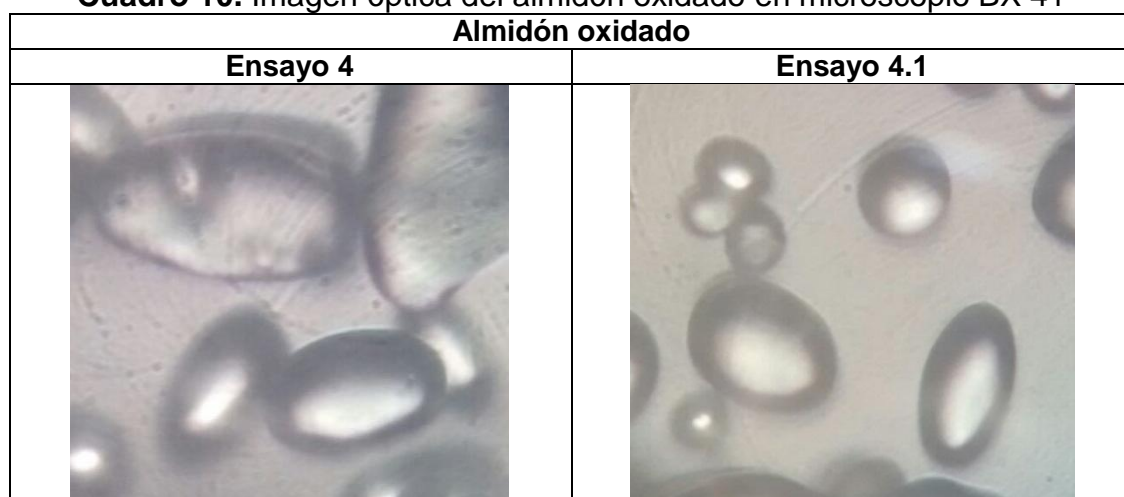
Cuadro 9. Imagen óptica del almidón acetilado en microscopio BX 41



Cuadro 9. (Continuación)



Cuadro 10. Imagen óptica del almidón oxidado en microscopio BX 41



3.4.2.2 Tamaño de partículas. Los resultados del tamaño de partícula en μm se presenta en la tabla 42. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo Q.

Tabla 42. Resultados de tamaño de partícula del almidón nativo y los almidones modificados

Metodo	Ensayos	Tamaño de partícula (μm)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	98,190	98,190	0,000
	ALMIDON NATIVO 2	98,190		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	99,533	99,640	0,002
	ENSAYO 1.1	99,747		
	ENSAYO 2	100,801	100,711	0,001
	ENSAYO 2.1	100,621		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	99,014	98,653	0,005
	ENSAYO 4.1	98,292		

3.4.2.3 Densidad aparente y apisonada. Los resultados de estas pruebas se encuentran en la tabla 43 y 44. Los cálculos correspondientes se encuentran en el anexo R.

Tabla 43. Resultados densidad aparente del almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Densidad aparente (g/ mL)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,679	0,679	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,679		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,659	0,645	0,03
	ENSAYO 1.1	0,630		
	ENSAYO 2	0,630	0,627	0,01
	ENSAYO 2.1	0,624		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,658	0,669	0,02
	ENSAYO 4.1	0,679		

Tabla 44. Resultados densidad apisonada del almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Densidad apisonada (g/ mL)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,894	0,894	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,894		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,842	0,804	0,07
	ENSAYO 1.1	0,767		
	ENSAYO 2	0,787	0,733	0,10
	ENSAYO 2.1	0,679		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,779	0,786	0,01
	ENSAYO 4.1	0,793		

A partir de los resultados anteriores se obtuvo la Voluminosidad aparente y apisonada (tabla 45 y 46), el índice de Carr y Hausner (Tabla 47 y 48).

Tabla 45. Resultados de Voluminosidad aparente para almidón nativo y modificado

Metodo	Ensayos	Voluminosidad aparente (mL/g)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	1,472	1,472	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	1,472		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,518	1,552	0,03
	ENSAYO 1.1	1,586		
	ENSAYO 2	1,588	1,595	0,01
	ENSAYO 2.1	1,602		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	1,519	1,496	0,02
	ENSAYO 4.1	1,472		

Tabla 46. Resultados de Voluminosidad apisonada para almidón nativo y modificado

Metodo	Ensayos	Voluminosidad apisonada (mL/g)	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	1,119	1,119	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	1,119		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,188	1,246	0,07
	ENSAYO 1.1	1,304		
	ENSAYO 2	1,271	1,371	0,10
	ENSAYO 2.1	1,472		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	1,284	1,272	0,01
	ENSAYO 4.1	1,260		

Tabla 47. Resultados del Índice de Carr para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Índice de Carr	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	0,240	0,240	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	0,240		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	0,217	0,198	0,14
	ENSAYO 1.1	0,178		
	ENSAYO 2	0,200	0,141	0,60
	ENSAYO 2.1	0,081		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	0,155	0,150	0,05
	ENSAYO 4.1	0,144		

Tabla 48. Resultados del Índice de Hausner para almidón nativo y almidones modificados

Metodo	Ensayos	Indice de Hausner	Promedio	RSD
ALMIDÓN NATIVO	ALMIDON NATIVO 1	1,316	1,316	0,00
	ALMIDON NATIVO 2	1,316		
ACETILACIÓN	ENSAYO 1	1,277	1,247	0,03
	ENSAYO 1.1	1,216		
	ENSAYO 2	1,250	1,169	0,10
	ENSAYO 2.1	1,088		
OXIDACIÓN	ENSAYO 4	1,183	1,176	0,01
	ENSAYO 4.1	1,168		

4. ANALISIS Y DISCUSIÓN

4.1 PRETRATAMIENTO DEL ALMIDÓN

4.1.1 Humedad del almidón nativo. Con base en los resultados que se obtienen del porcentaje de humedad del almidón de papa nativo a través de la ecuación 1, se observa que el almidón presenta una humedad bastante alta, fuera del rango de humedad del almidón de papa seco de grado industrial de color blanco puro; la cual oscila entre el 8 y el 10%²⁷. Esto se debe a que el almidón nativo dentro de la Comercializadora Nacional de Papa R&G S.A.S, es considerado como un residuo y no se le realizan tratamientos previos para su reutilización.

4.1.2 Contenido de pulpa en el almidón nativo. Esta prueba permite determinar con relativa facilidad la presencia de pequeñas cantidades de fibra en el almidón. El volumen del sedimento medido depende, en cierto modo, de la finura de la fibra. La presencia de cualquier indicio de fibra, pulpa u otra impureza se pueden determinar por medio de una hidrólisis ácida moderada del residuo de la muestra²⁸. Con base a los resultados presentados en la tabla 2 (cálculos en anexo C), se considera que el almidón nativo no es de buena calidad ya que supera el valor de 0,3 % en contenido de pulpa, que según la literatura para que un almidón sea de excelente calidad no debe exceder este valor, en este caso el almidón nativo supera el 13,64% ± 0,002.

4.1.3 Eliminación de humedad e impurezas. Cabe destacar que de una suspensión de 10000g de almidón en agua tipo I, se obtienen pérdidas de 8148g equivalente al 81,48% del total, dichas pérdidas incluyen almidón, fibra de papa y agua; para finalmente obtener un rendimiento neto del 18,52% del almidón procesado al inicio.

Teniendo en cuenta los resultados que se obtienen en el balance de materia (Tabla 3), se logra establecer el porcentaje de pérdidas totales del proceso de eliminación de humedad e impurezas, y el rendimiento del almidón (Tabla 4) durante este proceso, es decir, la cantidad de almidón obtenido que tiene las características adecuadas para su posterior modificación química.

²⁷ ALVIS, Armando, VELÉZ, Carlos, VILLADA, Héctor y RADA Maite; Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. Información tecnológica. Vol 19 No.1, 2008. p. 19 – 28.

²⁸ ARISTIZÁBAL y SÁNCHEZ. Op. Cit., p. 63.

4.2 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

4.2.1 Acetilación. Las pruebas se realizaron variando el volumen de anhídrido acético (2,7 y 10mL), teniendo en cuenta la ecuación 20, se produjo almidón acetilado y CH_3COOH , los cuales se obtienen en promedio de $29,47 \pm 0,04$ almidón acetilado y 1,72 g CH_3COOH para el primer ensayo, y $22,15g \pm 0,11$ almidón acetilado y 6,35 g CH_3COOH para el segundo ensayo.

Vale la pena señalar que estequiometricamente el valor del almidón acetilado final debe ser de 5,83g con 2,7mL de anhídrido acético y 21,58g con 10mL de anhídrido acético, por lo cual se asume que los $29,47g \pm 0,04$ y los $22,15g \pm 0,11$ que se obtienen, contienen almidón nativo sin modificar, debido a lo anterior se tomó en cuenta el valor estequiométrico y por diferencia de pesos se calculó el almidón nativo real en productos sin acetilar (ver anexo E); este valor corresponde a 74,19g (2,7 mL $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) y 58,45g (10 mL $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) lo cual se justifica con el porcentaje de conversión el cual es de 6,12% (2.7 mL $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) y 26,53% (10 mL $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$).

Con respecto al porcentaje de exceso, debido a que la cantidad estequiométrica es 1 mol equivalente a 162,1g de almidón nativo, al ingresar $80g \pm 0,05$ no se incurre en un exceso; y para las perdidas es importante tener en cuenta que estas incluyen almidón nativo, modificado y el agua ingresada.

4.2.2 Oxidación. Las pruebas se realizan adicionando 100 mL de NaOCl, variando la concentración en 0,5 y 1% de cloro activo, sin embargo, se debe tener en cuenta que este reactivo se encuentra disuelto en agua tipo I, razón por la cual el contenido total que ingresa es de 0,5 mL (0,56g) para la modificación con NaOCl 0,5% y 1 mL (1,11g) con NaOCl 1%, al adicionar esta cantidad en el almidón, durante la reacción (ver ecuación 21), se produce almidón oxidado, NaCl e H_2 ; los cuales se obtienen en promedio de 0,44g NaCl, 0,02g H_2 y $9,86 \pm 0,11$ almidón oxidado para el tercer ensayo, y 0,87g NaCl, 0,03g H_2 y $54,97 \pm 0,03$ almidón oxidado para el cuarto ensayo.

Se toma en cuenta que estequiometricamente el valor del almidón oxidado final debe ser de 1,32g (NaOCl 0,5%) y 2,62g (NaOCl 1%), por lo cual se asume que los $9,68g \pm 0,11$ y los $54,97g \pm 0,03$ que se obtienen, contienen almidón nativo sin modificar, debido a lo anterior se toma en cuenta el valor estequiométrico y por diferencia de pesos se calcula el almidón nativo real en productos sin oxidar (ver anexo F). Este valor corresponde a 168,72g (NaOCl 0,5%) y 167,44g (NaOCl 1%), lo cual se justifica con el porcentaje de conversión el cual es de 0,86% (NaOCl 0.5%) y $1,67\% \pm 0,04$ (NaOCl 1%).

Con respecto al porcentaje de exceso, debido a que la cantidad estequiométrica es 1 mol equivalente a 162,1g de almidón nativo, al ingresar $170g \pm 0,05$ incurre

un exceso de 5%; y para las pérdidas cabe resaltar que estas incluyen almidón nativo, modificado y el agua ingresada.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA MODIFICACIÓN

4.3.1 Espectrometría de infrarrojo. En las figuras 15 y 16 se presentaron señales entre 750 a 1250 cm^{-1} , que corresponden al estiramiento C-O de los grupos acetilo, aproximadamente en el pico 1230 cm^{-1} se presenta este estiramiento; también se puede observar una amplitud en la señal ubicada entre 1700 a 1750 cm^{-1} para los almidones acetilados y sus réplicas, esta señal es característica de las vibraciones del grupo carbonilo presente en el almidón acetilado.

Adicionalmente, en 3000 a 4000 cm^{-1} se presenta una disminución en la amplitud de la banda correspondientes a vibraciones por estiramiento de los grupos hidroxilos (OH-); las señales nombradas anteriormente corresponden a las presentadas en la literatura para almidones acetilados de maíz y mijo (3); con lo anterior se verifica que la modificación por acetilación se efectuó en los ensayos 1 y 2, y sus respectivas réplicas.

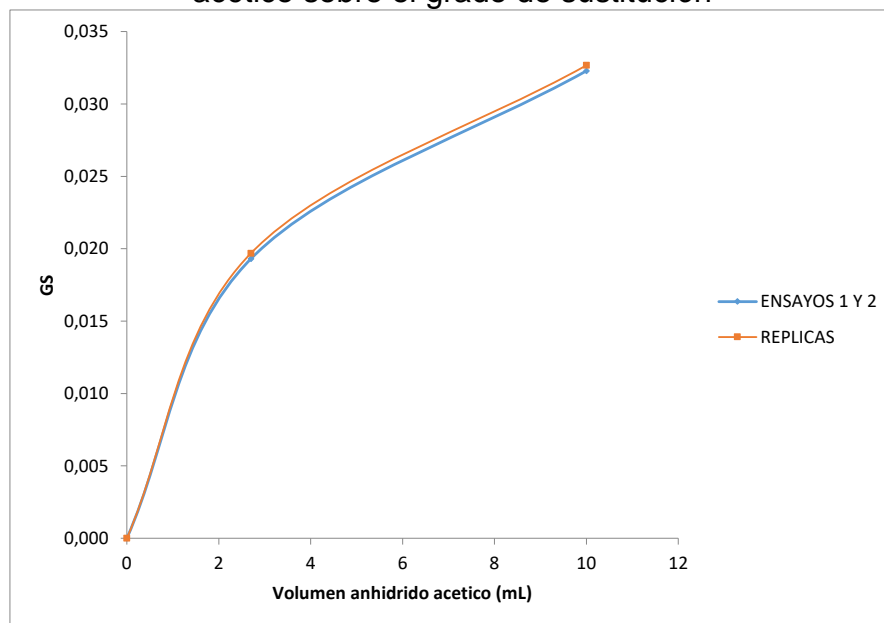
En las figuras 17 y 18 no se presenta un aumento en el ancho de la banda en la señal 3000 - 4000 cm^{-1} , la cual debe aumentar a medida que el nivel de oxidación aumenta, indicando así un incremento en la presencia de grupos carboxilo; tampoco se evidencia un cambio en la banda 1700 - 1750 cm^{-1} , característica de los grupos carbonilo; lo anterior indica que no se está llevando a cabo la modificación completa por oxidación, estos resultados son similares a los presentados por la literatura para almidón modificado de plátano (21); sin embargo mediante esta técnica no se puede asegurar que las propiedades del almidón no hayan cambiado, ni que la oxidación se haya presentado en un bajo porcentaje, para esto se deben realizar pruebas de grado de sustitución y caracterización.

4.3.2 Grado de sustitución. Los análisis del grado de sustitución se presentan por método de modificación:

4.3.2.1 Acetilación.

- **Grupos acetilos.** Teniendo en cuenta que se varía el volumen de reactivo (anhídrido acético), cuando este aumenta, el grado de sustitución (GS) incrementa, tal como se observa en la gráfica 1, obteniéndose así un porcentaje acetyl de $0,52\% \pm 0,01$ con un grado de sustitución de 0,02 para el primer ensayo y un porcentaje acetyl de $0,86\% \pm 0,01$ con un grado de sustitución de 0,033 para el segundo ensayo; los valores reportados anteriormente, fueron similares a los obtenidos por Vargas, *et al.*²⁹, para almidones acetilados de papa, los cuales obtienen valores de 0,44% y 0,02 para almidones modificados con 5% de anhídrido acético, además de 0,87% y 0,03 para almidones modificados con 10% de anhídrido acético; también fueron parecidos a los reportados por Bello Pérez, *et al.*³⁰, con valores de 1,1% y 0,04 para almidones acetilados de plátano.

Gráfica 1. Efecto de la adición de anhídrido acético sobre el grado de sustitución



²⁹ VARGAS, G, *et al.*, Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Scientia Agropecuaria, Vol. 7 No. 3, 2016. p 223 - 230.

³⁰ BELLO PÉREZ, Luis Arturo, *et al.*, Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (VAR. MACHO). Texcoco, México. Agrociencia, vol. 2 No. 36, 2002.

4.3.2.2 Oxidación.

- **Grupos carboxilos y carbonilos.** Debido a que se varia la concentración de NaOCl (0,5 y 1% de cloro activo), a medida que esta aumenta, el porcentaje de grupos carbonilos incrementa tal como se observa en la gráfica 3, cabe señalar que para el almidón oxidado con NaOCl 0,5% de cloro activo no se detectan grupos carbonilos, de la misma manera lo reporta Sánchez Rivera³¹ para almidones oxidados con concentraciones entre 0,25 y 0,75% de cloro activo, pero para la modificación con 1% si se detectan con un valor aproximado de $0,016\% \pm 0,137$, similares a los obtenidos por Sánchez Rivera³² con valores de 0,015% y 0,021% con concentraciones de 1,0 a 1,5% de cloro activo para almidones oxidados de plátano; es importante tener en cuenta que la no formación de grupos carbonilos puede verse afectada por diversos factores como la concentración del reactivo o porque el proceso de oxidación se realiza en medio alcalino lo que favorece la formación de grupos carboxilos.

Algunos estudios sugieren que existe una relación entre los grupos carbonilos y carboxilos, sosteniendo que existe una reacción consecutiva, donde los grupos hidroxilos de la molécula de almidón son oxidados a grupos carbonilos, los cuales en una etapa posterior son oxidados a grupos carboxilo. (22)

Con respecto a los grupos carboxilos estos aumentan a medida que incrementa la concentración de reactivo oxidante tal como se observa en la gráfica 2, sin embargo para el tercer ensayo (0,5% cloro activo) se presenta un bajo porcentaje de grupos carboxilos con un valor de $0,0045\% \pm 0,786$, lo cual es casi nulo, pero cabe señalar que cuando se aumenta la concentración (1% cloro activo), el porcentaje de grupos carboxilos crece, presentando un valor de $0,044\% \pm 0,032$, similar al presentado por Sánchez Rivera *et al*³³, quienes obtuvieron un valor de 0.040% con 1% de cloro activo para almidones modificados de plátano.

Con respecto a todo lo anterior, es válido resaltar que el tercer ensayo que se realiza con NaOCl 0,5% de cloro activo no oxidó, debido a que no presenta grupos carbonilos, y su porcentaje de grupos carboxilos es casi nulo, además de que en las pruebas realizadas por espectrometría de infrarrojo no presenta ningún cambio o variación con respecto a los espectros del almidón nativo y mediante el balance de materia se logra observar que su rendimiento no es favorable, puesto que de $170g \pm 0,05$ de almidón nativo se obtienen $9,86g \pm$

³¹ SÁNCHEZ RIVERA. Op. Cit., p. 52 - 55.

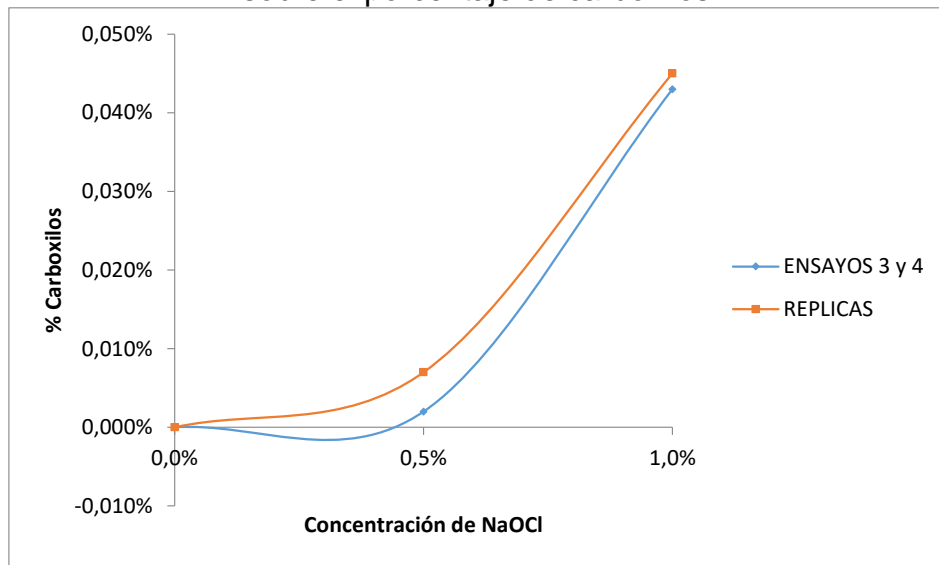
³² Ibid.

³³ SÁNCHEZ RIVERA, M. M, *et al*. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. Carbohydr Polym. p. 50 - 56.

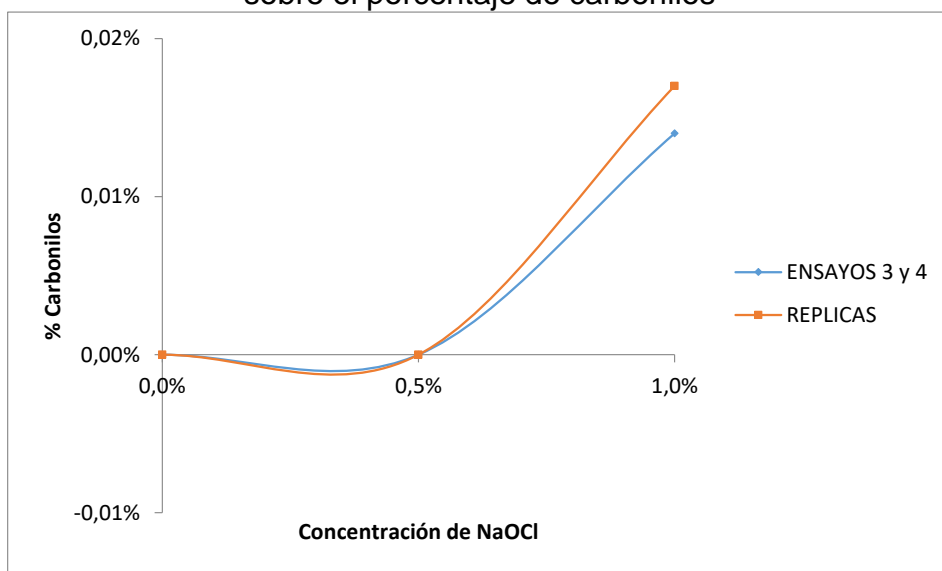
0,11 de almidón oxidado, por todo lo anterior, se debe enunciar que no es viable caracterizar este almidón.

No obstante, el cuarto ensayo si presenta variaciones en cuanto a grupos carbonilos y carboxilos, pero no presenta espectros infrarrojos distintos a los del almidón nativo, por tal razón se prevé que el almidón oxido en un porcentaje muy bajo el cual puede llegar a presentar cambios en sus propiedades

Gráfica 2. Efecto de la concentración de NaOCl sobre el porcentaje de carboxilos



Gráfica 3. Efecto de la concentración de NaOCl sobre el porcentaje de carbonilos



4.4 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

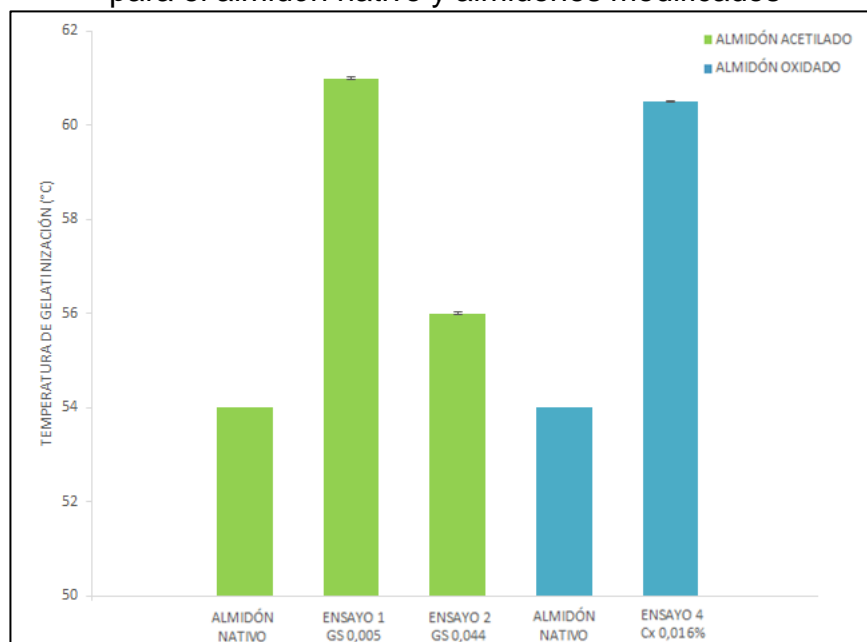
4.4.1 Caracterización física y química

4.1.1.1 Temperatura de gelatinización. En los resultados obtenidos de la tabla 17, se evidencia que la temperatura de gelatinización del almidón de papa nativo es de 54°C, resultado que es coherente a la temperatura de gelatinización del almidón de papa original que se encuentra en un rango de 52,4°C a 60°C aproximadamente. En la gráfica 4 se observa un aumento de las temperaturas de gelatinización de los almidones modificados con respecto a la temperatura del almidón nativo, sin embargo, a pesar de que las temperaturas aumentan, en el caso de la acetilación no existe una tendencia clara, teniendo en cuenta que a GS 0,005 la temperatura aumenta y a 0,044 disminuye. Adicional, es importante resaltar que las temperaturas de gelatinización de los almidones acetilado a GS 0,005 y los almidones oxidados, presentan un valor cercano o similar, lo que supondría que para esta prueba de caracterización presentan la misma tendencia.

Lo anterior se debe a que los gránulos del almidón son insolubles en agua fría, y cuando se calientan en solución a temperaturas altas, alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos, donde estos se rompen parcialmente y la amilosa y la amilopectina se dispersan en el seno de la disolución; al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados también hidratados, de los restos de los gránulos. (23)

Del análisis de varianza de un factor se demuestra que al nivel de significancia α : 0,05, se presentan diferencias estadísticas significativas para las muestras de almidón nativo frente al acetilado y oxidado (Ver anexo H), lo cual quiere decir que la reacción de acetilación tuvo un efecto característico en la variación de la temperatura de gelificación, y la reacción de oxidación, en el aumento de la misma

Gráfica 4. Temperatura de Gelatinización para el almidón nativo y almidones modificados

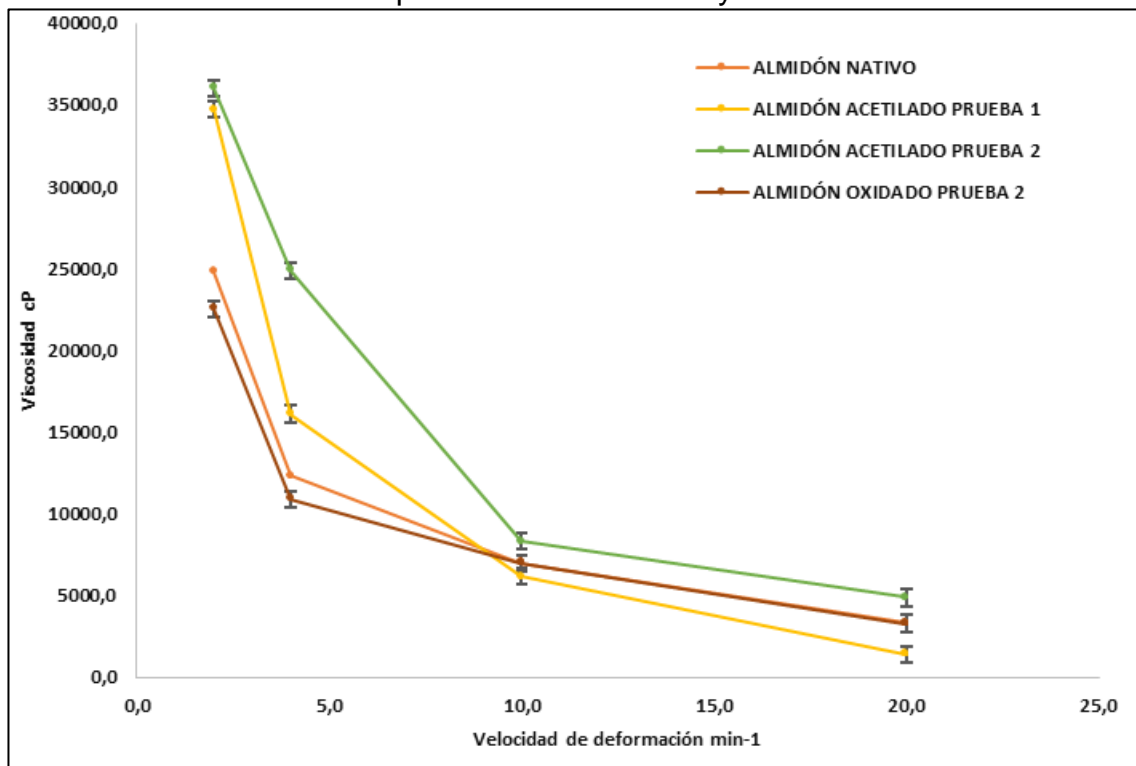


4.1.1.2 Viscosidad. En la gráfica 5 se presentan los perfiles comparativos de viscosidad para almidón nativo, acetilado y oxidado. Aquí se puede observar como a medida que la velocidad de deformación (min^{-1}) aumenta, la viscosidad disminuye, esta tendencia es exhibida por todos los almidones, mostrando un comportamiento pseudoplástico, sin embargo, si se compara el almidón nativo con los almidones acetilados se puede observar un aumento en su viscosidad inicial (2 y 4 min^{-1}) y valores cercanos de viscosidad en las velocidades finales (10 y 20 min^{-1}), de la misma manera lo reportan Sulbaran Ruiz para almidones acetilados de maíz. Betancur y Ancona, atribuyen este comportamiento al aumento de la capacidad de retención de agua y al desarrollo de estructuras más organizadas, por inducción de grupos acetilos a la molécula.

Para el almidón oxidado la viscosidad inicial a 2 y 4 min^{-1} disminuye con respecto al almidón nativo, pero en velocidades de deformación más altas (10 y 20 min^{-1}) su comportamiento es similar, lo anterior debido a la baja concentración de cloro activo (1%) en el hipoclorito de sodio (NaOCl); Bonilla M. et al, también indican una disminución en la viscosidad para almidones de yuca oxidados con NaOCl 5% cloro activo, y atribuyen que este comportamiento se encuentra asociado a la desintegración que presenta el almidón durante la oxidación, causada por el rompimiento de los enlaces glucosídicos, lo cual reduce el peso molecular causando una disminución en la viscosidad.

Adicional, si se realiza una comparación entre los almidones acetilados y oxidados, se puede observar que los almidones acetilados presentan una mayor viscosidad. Con respecto al análisis de varianza se demuestra que al nivel de significancia $\alpha: 0,05$, se presentan diferencias estadísticamente significativas para las muestras de almidón nativo frente al acetilado en todas las velocidades y frente al oxidado en las velocidades 2, 4 y 10 min^{-1} (Ver anexo I), mientras que para el almidón oxidado en la velocidad 20 min^{-1} (Ver anexo I) no se presentan diferencias estadísticamente significativas, lo cual quiere decir que la reacción de acetilación tiene un efecto característico en el aumento de la viscosidad, y la reacción de oxidación, en la disminución de la misma a las primeras 3 velocidades (2, 4 y 10 min^{-1}).

Gráfica 5. Viscosidad para el almidón nativo y almidones modificados



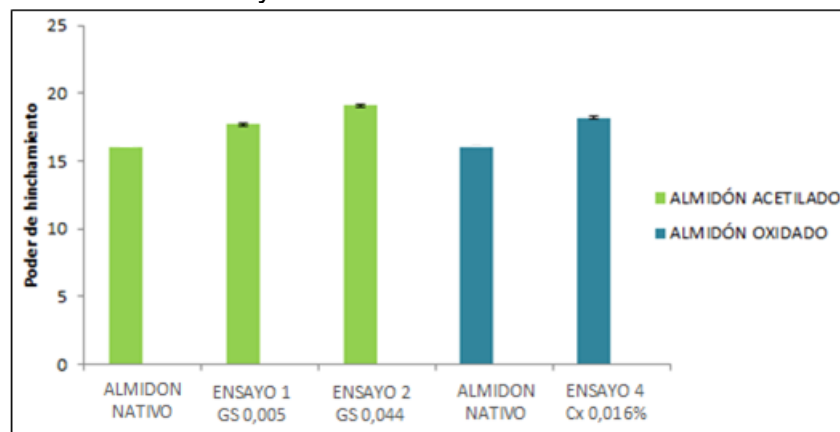
4.1.1.3 Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua. El poder de hinchamiento que se obtiene para el almidón nativo es de 16,203, el cual se encuentra dentro del rango (15 – 20) para almidones de papa (sin modificar), según lo reportado por Martínez et al , y adicional, es importante recalcar que según la literatura, el poder de hinchamiento de almidones acetilados tiende a incrementar con el aumento del grado de sustitución, así lo reportan Sulbaran Ruiz , lo anterior se presenta en la gráfica 6, donde se observa que el poder de hinchamiento presento un aumento al incrementar el grado de sustitución de los

almidones modificados. Este parámetro se encuentra altamente relacionado con el índice de absorción de agua, debido a que los gránulos se hinchan al absorber agua, este índice presentó un valor de 15,167 para el almidón nativo, encontrándose dentro del rango (13 – 18) reportado por Martínez et al, adicional, en la gráfica 7 se presenta un aumento significativo del almidón acetilado y oxidado con respecto al nativo y con el incremento del grado de sustitución.

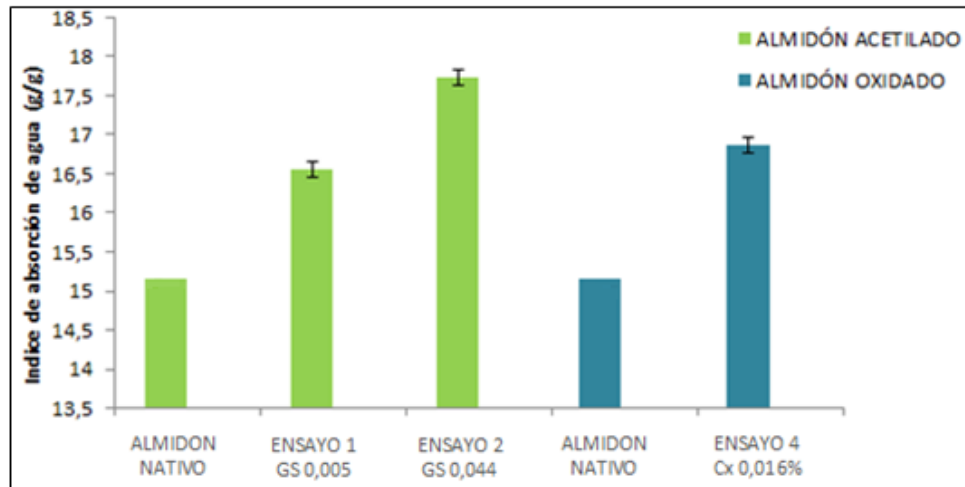
Con respecto a la solubilidad en agua, para el almidón nativo se obtuvo un valor de 9,784%, el cual se encuentra dentro del rango (9 - 11) % obtenido por Martínez et al. En la gráfica 8 se observa también un aumento de esta solubilidad en relación al incremento del grado de sustitución, Esta propiedad es un indicativo del grado de asociación existente entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina).

El análisis de varianza de un factor, que se realiza para comparar el almidón nativo con los almidones modificados, demuestra que, para poder de hinchamiento, solubilidad en agua y absorción de agua al nivel de significancia evaluado (α : 0,05), se presentan diferencias estadísticamente significativas (Ver anexo J), de acuerdo a este análisis, se puede deducir que la reacción de acetilación y oxidación aumenta las propiedades de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua, con referencia al almidón nativo.

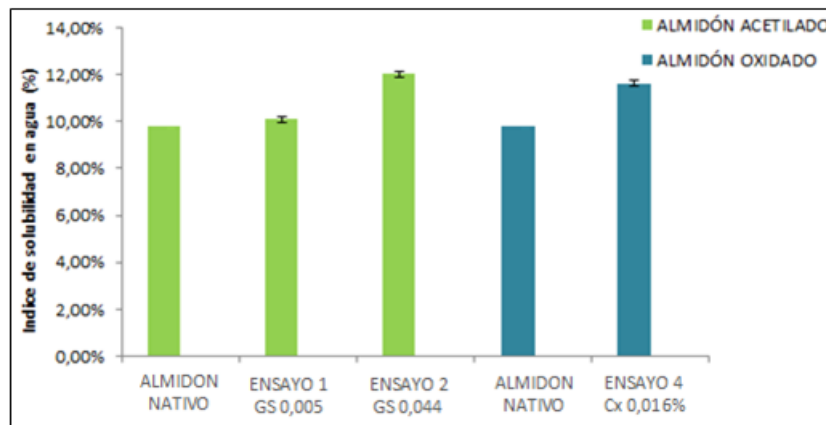
Gráfica 6. Poder de hinchamiento para almidón nativo y almidones modificados



Gráfica 7. Índice de absorción de agua (g gel/ g almidón) para almidón nativo y almidones modificados



Gráfica 8. Índice de solubilidad en agua (%) para almidón nativo y almidones modificados



4.1.1.4 Claridad en las dispersiones. Las gráficas 9, 10 y 11 presentan el comportamiento del almidón nativo y los almidones modificados al determinar su porcentaje de transmitancia en el tiempo, en la gráfica 9 se puede observar que el porcentaje a 4°C para los almidones acetilados es mayor que el del almidón nativo, y para los almidones oxidados es menor en las 0 horas (gráfica 11) pero mayor a partir de las 24 horas (gráfica 9), siendo los acetilados los que mayor porcentaje presentan, sin embargo, a medida que el tiempo transcurre este porcentaje disminuye en cada uno de los almidones; en la gráfica 10 se observa que para el porcentaje de transmitancia evaluado a 25°C existe una leve disminución en los porcentajes de todos los almidones, no obstante en este caso los almidones oxidados presentan menor porcentaje que el almidón nativo en las 0

horas (gráfica 11) y mayor a partir de la 24 horas (gráfica 10), y los acetilados presentan mayor porcentaje que el almidón nativo y oxidado (gráfica 10).

De lo anterior se puede inferir que a medida que aumenta el grado de sustitución en los almidones modificados, incrementa el porcentaje de transmitancia de los mismos a partir de las 24 horas, teniendo en cuenta que a medida que el tiempo transcurra todos van a presentar la misma tendencia de disminución de porcentaje, debido a que la muestra pierde translucidez lo cual genera que a través de ella la luz no pase con facilidad.

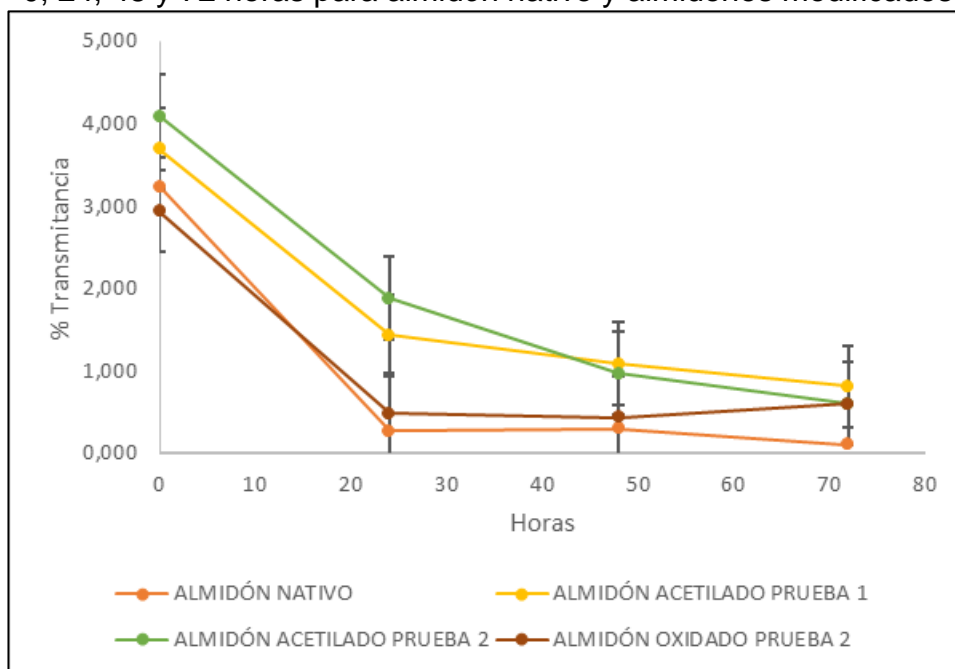
Betancur Ancona reporta que la claridad de las pastas, es un parámetro importante para determinar la aplicación de los almidones en productos farmacéuticos o alimenticios debido a que pueden dar brillantez u opacidad al producto final.

Sulbaran Ruiz atribuye que al aumentar el porcentaje de transmitancia debido a la acetilación, la claridad de las pastas aumenta por la sustitución de grupos hidroxilos por grupos acetilos, lo cual causa repulsión entre las moléculas de almidón adyacentes y reduce las asociaciones entre las cadenas moleculares que forman el almidón, lo que facilita el aumento del porcentaje de transmitancia y también atribuyen la disminución de este porcentaje con el tiempo debido a la precipitación de las moléculas de amilosa debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos, volviendo opacas las dispersiones diluidas del almidón .

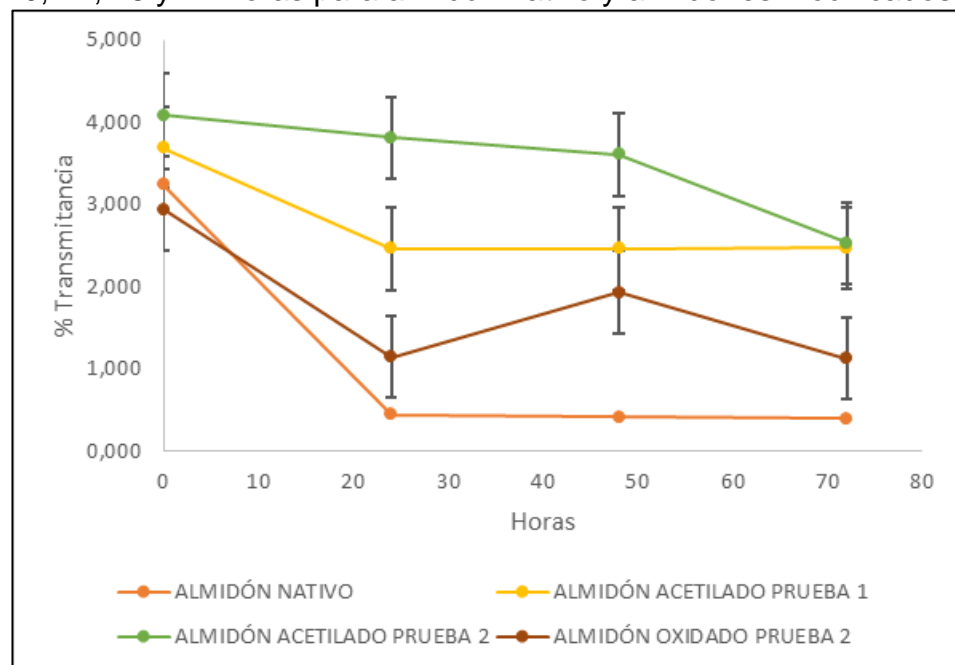
El comportamiento anteriormente mencionado para almidones acetilados lo reportan similar Sulbaran Ruiz para almidones de millo y Vargas et al para almidones de papa, sin embargo, los valores obtenidos no se encuentran dentro de los rangos obtenidos, los cuales en almacenamiento de 4°C presentan valores entre 22 a 57% para las 0 horas, 9 – 14% para las 24 horas, 5 – 10% para las 48 horas y 1 – 5% para las 72 horas. Para los almidones oxidados no se encuentra información sobre este parámetro con la cual se pueda comparar.

En relación al análisis de varianza realizado, se puede inferir que al nivel de significancia α : 0.05, para el porcentaje de transmitancia de los almidones acetilados a 4°C durante 0, 24 y 72 horas, a 25°C durante 0, 24, 48 y 72 horas y de los almidones oxidados a 4°C durante 24 horas (Ver anexo K) se presentan diferencias estadísticamente significativas; y para los almidones acetilados a 4°C durante 48 horas, oxidados a 4°C durante 0, 48 y 72 horas y oxidados a 25°C durante 0, 24, 48 y 72 horas, no se presentan diferencias estadísticamente significativas; por lo anterior se puede deducir que la reacción de acetilación modula la transmitancia en los geles, en comparación a los almidones nativos, mientras que la reacción de oxidación desmejora esta transmitancia, generando que los almidones se vuelvan más opacos.

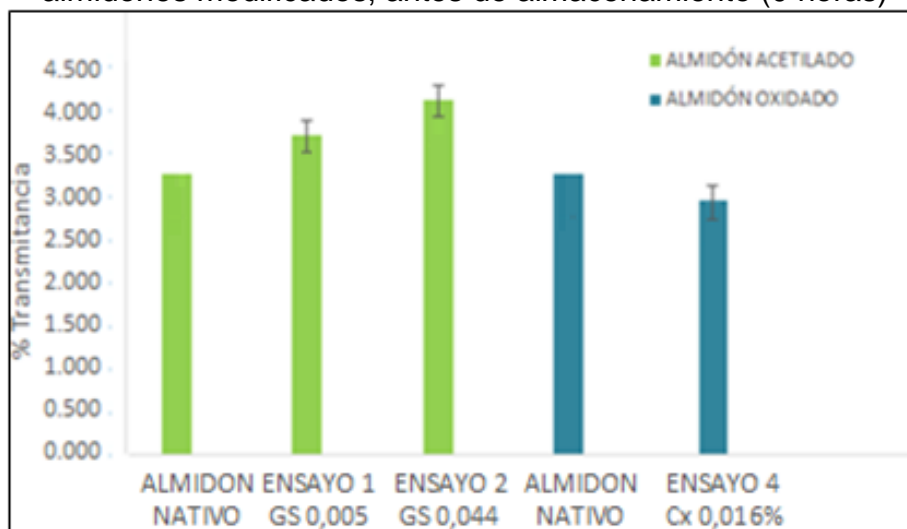
Gráfica 9. Porcentaje de transmitancia a 4°C durante 0, 24, 48 y 72 horas para almidón nativo y almidones modificados



Gráfica 10. Porcentaje de transmitancia a 25°C durante 0, 24, 48 y 72 horas para almidón nativo y almidones modificados



Gráfica 11. Claridad (%Transmitancia) del almidón nativo y almidones modificados, antes de almacenamiento (0 horas)

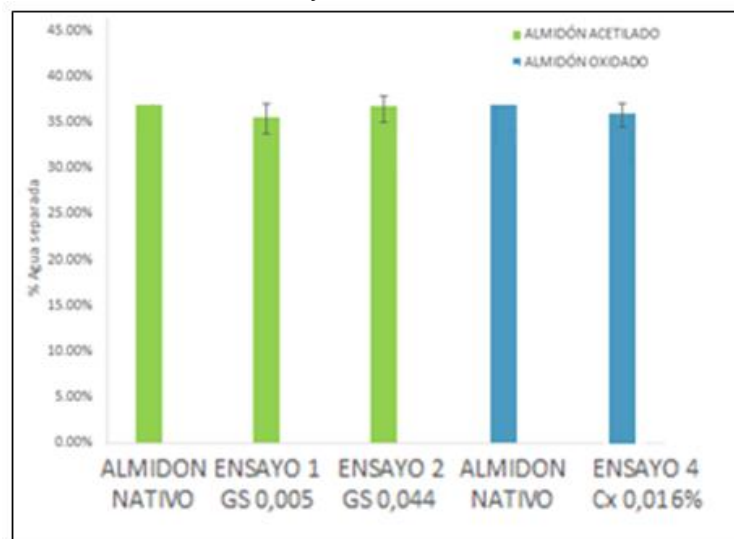


4.1.1.5 Estabilidad al congelamiento y descongelamiento. Se debe tener en cuenta que cuando el porcentaje de agua liberada disminuye, la estabilidad al congelamiento y descongelamiento aumenta, razón por la cual en la gráfica 12, se evidencia que la estabilidad del almidón de papa incrementa con el aumento del grado de sustitución tanto para la oxidación como para la acetilación, lo anterior debido a que el almidón nativo presenta una menor estabilidad, es decir que el porcentaje de agua liberada fue mayor (36,89%).

El almidón modificado mediante acetilación muestra un incremento de estabilidad al congelamiento y descongelamiento del 1,33% para GS de 0,005 y 0,19% para GS 0,044, y así mismo un aumento de la estabilidad para el almidón oxidado, con un incremento de 0,81%; una tendencia similar reporta Carrascal Sánchez para almidones de maíz acetilados, y Bonilla et al , para almidones oxidados de plátano teniendo en cuenta, que se presentó una alta retrogradación de este almidón, lo cual permite analizar la estabilidad, puesto que estas dos características son proporcionales.

El análisis de varianza de un solo factor (Ver anexo L) con nivel de significancia α : 0,05 demuestra que se detectan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de almidón nativo y almidones modificados, con referencia al almidón nativo, lo anterior permite deducir que la reacción de acetilación y oxidación mejoro la estabilidad al congelamiento y descongelamiento de los almidones modificados y así mismo su retrogradación.

Gráfica 12. Porcentaje de agua separada para almidón nativo y almidones modificados

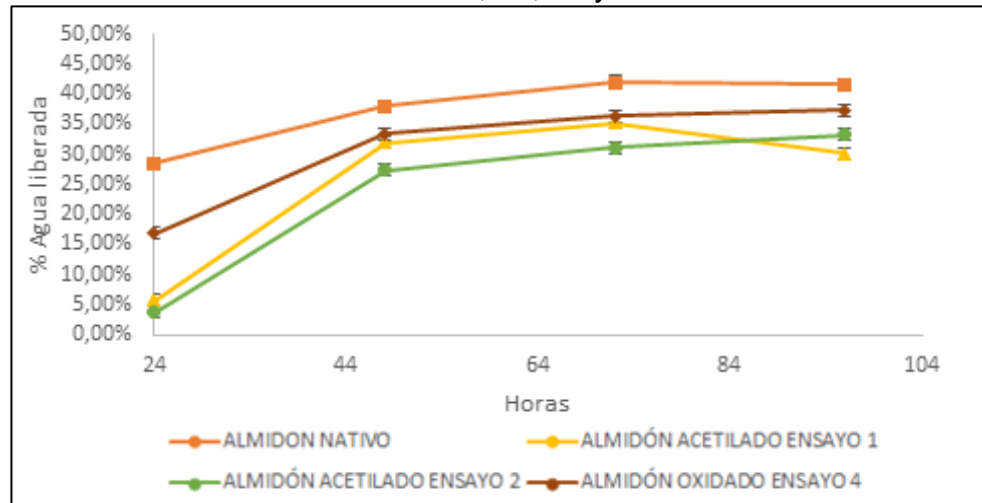


4.1.1.6 Sinéresis. En la gráfica 13 se puede evidenciar un aumento en el porcentaje de agua liberada con respecto al tiempo para todos los almidones, y adicional se observa una disminución del porcentaje con el aumento del grado de sustitución, siendo los almidones acetilados los que menor porcentaje de agua liberaran, seguidos del almidón oxidado y el almidón nativo que es el mayor porcentaje de agua libera, unas tendencias similares presentaron Vargas et al, para almidones acetilados de papa.

Lo anterior sucede debido a la formación de cristales en la retrogradación, los cuales durante los ciclos de congelación generan que el gel del almidón pierda translucidez, puesto que la amilosa y las ramificaciones de amilopectina se deben desligar del agua generando exudados. (24)

El análisis de varianza de un factor (Ver anexo M) demuestra que al nivel de significancia evaluado (α : 0,05), se detectan diferencias estadísticamente significativas para los almidones modificados con respecto al almidón nativo, y de acuerdo a lo anterior, se puede inferir que la reacción de acetilación y oxidación mejora la sinéresis con respecto al almidón nativo.

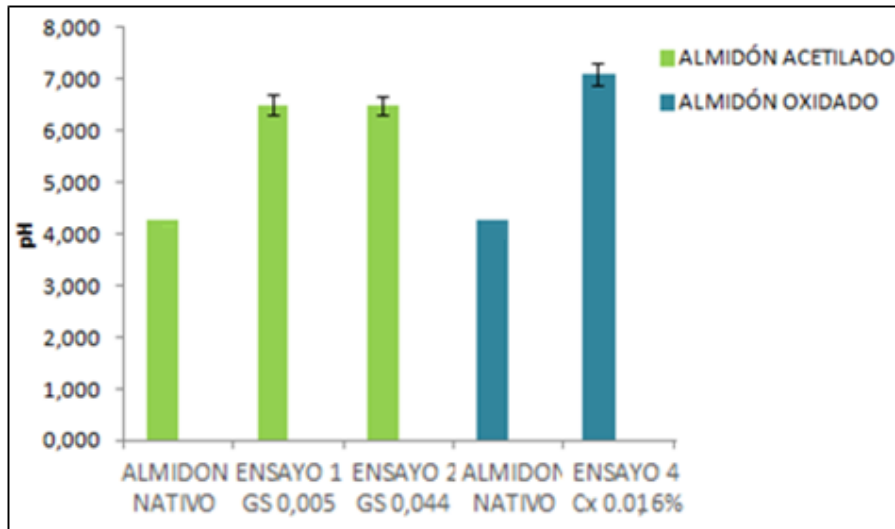
Gráfica 13. Sinéresis (% Agua liberada) del almidón nativo y modificado a 24, 48, 72 y 96 horas



4.1.1.7 pH. En la gráfica 14, se evidencia que el pH obtenido del almidón nativo es ácido ya que presenta un valor de 4,28. En cuanto a los almidones modificados, mediante la acetilación se obtiene un pH promedio menos ácido, del valor de 6,5, y a su vez a través de la oxidación se obtiene un pH básico (alcalino) del valor de 7,1. Estos valores se encuentran dentro del rango que acepta la USP (United States Pharmacopea) que va de 3,0 a 9,0 para los almidones modificados. Lo que permite inferir que en ambas reacciones no quedó ningún residuo de reactivo modificante lo que afecta directamente el cambio de pH.

En el análisis de varianza de un factor (Ver anexo N) a nivel de significancia de 0,05, se puede deducir que se detectan diferencias estadísticamente significativas para los almidones modificados con respecto al almidón nativo, lo anterior deriva en que la reacción de acetilación y oxidación genera un aumento en el pH.

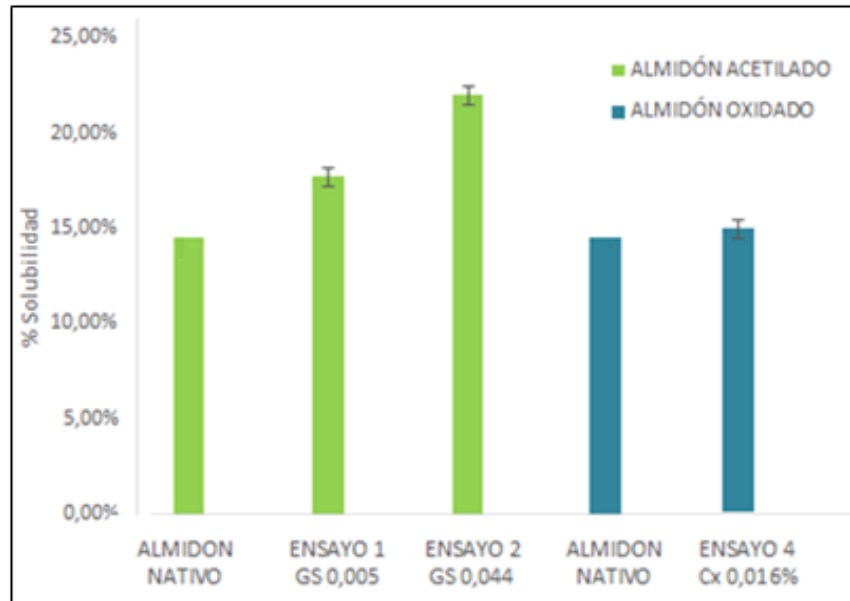
Gráfica 14. pH para almidón nativo y almidones modificados



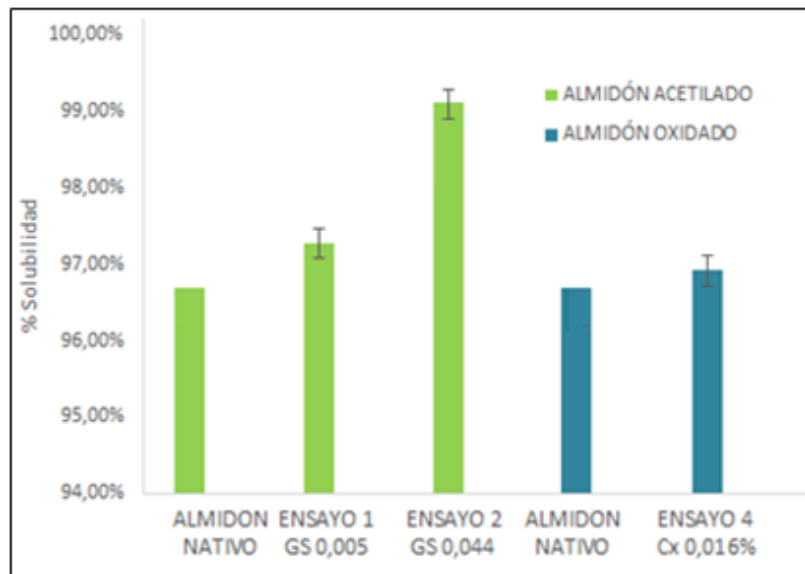
4.1.1.8 Solubilidad en agua fría y agua caliente. En la gráfica 15 y 16 se puede observar un aumento en la solubilidad en agua fría y caliente para los almidones modificados, proporcional con el grado de sustitución, teniendo en cuenta que para la solubilidad realizada a 30°C el aumento no supero el 30% y que para la solubilidad a 70°C el incremento fue de más del 90%, se puede deducir que a medida que se aumenta la temperatura también se incrementa la solubilidad. Adicional se observa que la solubilidad de los almidones acetilados es mayor que la de los almidones oxidados, lo anterior se debe a que el almidón acetilado presenta polaridad que el almidón oxidado.

En el análisis de varianza (Ver anexo O) a nivel de significancia α : 0.05 se puede deducir que se detectan diferencias estadísticamente significativas para los almidones modificados con respecto al almidón nativo, lo cual quiere decir que las reacciones de acetilación y oxidación generaron una variación en la solubilidad del almidón.

Gráfica 15. Porcentaje de solubilidad para el almidón nativo y modificado a 30°C con respecto al grado de sustitución



Gráfica 16. Porcentaje de solubilidad para el almidón nativo y modificado a 70°C con respecto al grado de sustitución

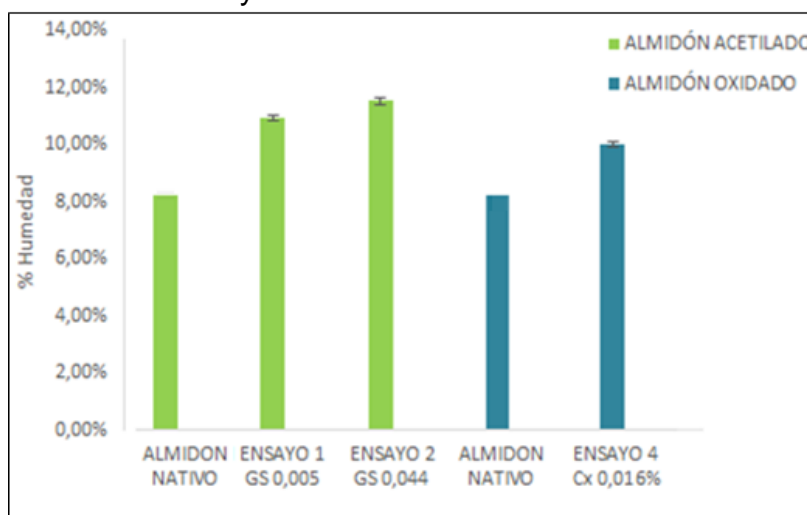


4.1.1.9 Contenido de humedad. En la gráfica 17 se evidencia que el contenido de humedad presente dentro de cada uno de los almidones modificados, se encuentran en un rango de 10,03% a 11,52%, el cual es mayor al contenido en el almidón nativo el cual se encuentra en un valor de 8,21%. Por lo tanto, cabe destacar que a través de las diferentes modificaciones, el almidón absorbe en

mayor proporción cierta cantidad de agua, la cual para los almidones modificados según la USP (United States Pharmacopea) se encuentra en un porcentaje máximo del 15%, teniendo en cuenta esto, los almidones acetilados y oxidados se encuentran dentro del rango.

En el análisis de varianza de un factor (Ver anexo P) evaluado a nivel de significancia de 0,05, se detectan diferencias estadísticamente significativas para los almidones modificados contra los almidones acetilados, por lo anterior, la reacción de acetilación y oxidación genera un aumento en el contenido de humedad de los almidones con el aumento del grado de sustitución.

Gráfica 17. Porcentaje de humedad de almidón nativo y almidones modificados



4.4.2 Caracterización farmacotécnica.

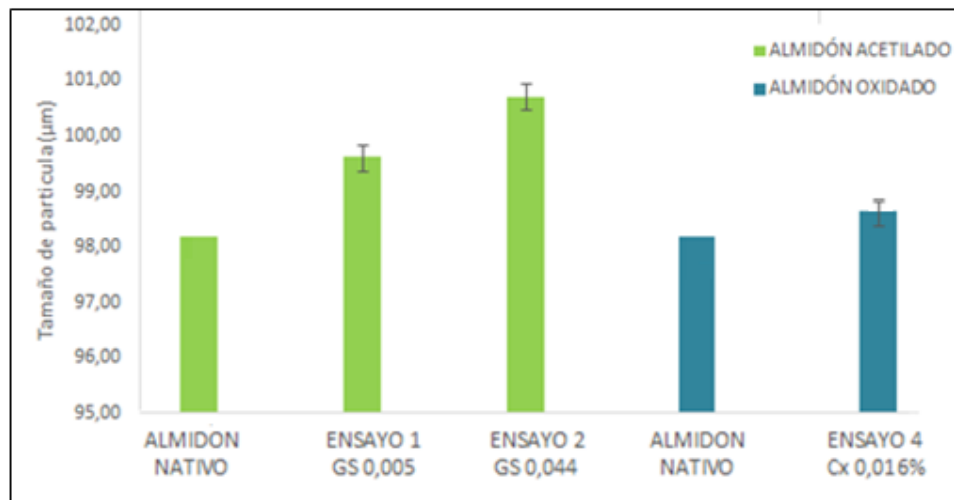
4.2.2.1 Forma de partículas. En los cuadros 4 – 6 se observa el análisis de microscopía óptica del almidón nativo y los almidones modificados por acetilación y oxidación, donde se permite observar su forma irregular ovalada y alargada; sin embargo al compararlos no se observan cambios significativos, lo anterior debido a que los gránulos fueron observados en una escala óptica de acercamiento de 100x, por lo cual su campo visual no es tan amplio y no se pueden detectar cambios en su estructura o superficie.

4.2.2.2 Tamaño de partículas. En los resultados observados en la gráfica 18, se evidencia que el tamaño de partícula del almidón nativo se obtuvo con un valor de 98,190 μm , el cual se encuentra dentro del rango estándar del tamaño de partícula de la fécula de papa; el cual oscila entre los 5 μm a los 100 μm . En cuanto a los almidones acetilados se observa un aumento del 1,99% en el tamaño, en relación

al almidón nativo, obteniendo un valor promedio de 100,175 μm ; esto puede atribuirse a que los gránulos están adheridos unos a otros por la reacción de acetilación, permitiendo así un incremento en el tamaño de los mismos; mediante la oxidación, también se obtuvo un aumento equivalente al 0,46% del tamaño de partícula.

Mediante el análisis de varianza de un factor (Ver anexo Q), se puede deducir que para el almidón acetilado se presentan diferencias estadísticamente significativas, mientras que para el almidón oxidado no se presentan diferencias, teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que la reacción de acetilación favorece el aumento del tamaño de partícula, mientras que la reacción de oxidación no genera cambios significativos en el tamaño.

Gráfica 18. Tamaño de partícula (μm) para almidón nativo y almidones modificados



4.2.2.3 Densidad aparente y apisonada. En las gráficas 19 y 20 se puede observar una disminución de la densidad con respecto al aumento del grado de sustitución de los almidones modificados, lo anterior se debe al aumento del tamaño del granulo, lo cual genera un empaquetamiento más difícil, con respecto al análisis de varianza (ver Anexo R) se detectan diferencias estadísticamente significativos para la densidad aparente del almidón acetilado y para la densidad apisonada del almidón oxidado, lo anterior influye en que la reacción de acetilación genera una variación en la densidad apisonada, mientras que la reacción de oxidación genera esta variación en la densidad aparente.

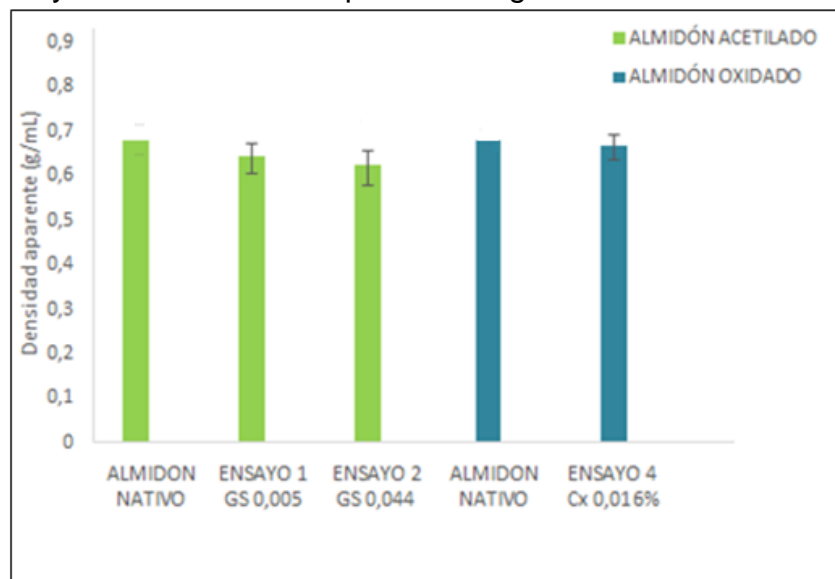
En las gráficas 21 y 22 se presenta un aumento de la voluminosidad aparente y apisonada de los almidones modificados con respecto al grado de sustitución, reportando valores de 1,472 para el almidón nativo, entre 1,5 – 1,6 para almidones acetilados y entre 1,45-1,5 para almidón oxidado, lo anterior permite catalogar el almidón nativo y los almidones modificados como un material voluminoso, resultados similares reportaron Sulbaran Ruíz para almidones acetilados de millo; con respecto al análisis de varianza de un factor (Ver anexo R), se deduce que para la voluminosidad aparente de los almidones acetilados y para la voluminosidad apisonada del almidón oxidado, se presentan diferencias estadísticamente significativas, lo anterior infiere que la reacción de acetilación favorece la voluminosidad aparente, mientras que la reacción de oxidación favorece la voluminosidad apisonada.

En la gráfica 23 se presenta una disminución en el índice de Carr en relación al aumento del grado de sustitución para los almidones modificados; el almidón nativo presenta un índice de Carr de 0,240 equivalente al 24% de compresibilidad, lo anterior lo clasificaría como un material de fluidez aceptable, cabe resaltar que al disminuir el índice de Carr, disminuye el porcentaje de compresibilidad por lo cual aumenta la fluidez del material, observando que el almidón de papa modificado mediante acetilación y oxidación presentaría una fluidez de buena a excelente, la cual aumenta con el incremento del grado de sustitución; con respecto al índice de Hausner en la gráfica 24 se observa una disminución en el índice con respecto al aumento del grado de sustitución, para el almidón nativo se reporta un índice de 1,316, lo cual es un indicativo de fluidez pobre, sin embargo al disminuir el índice, aumenta la fluidez, observándose que para los almidones acetilados y oxidados los valores reportados se encuentran entre regular y buena.

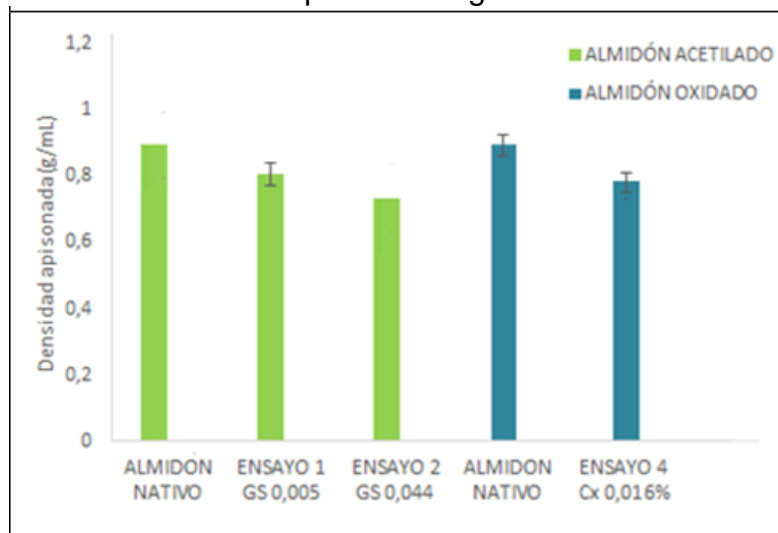
Debido a lo anterior es importante aclarar que, aunque los dos índices no concuerdan en cuanto a fluidez para el almidón, si se puede afirmar que a medida que aumenta el grado de sustitución, incrementa la fluidez de los materiales.

En el análisis de varianza de un factor (Ver anexo R), se puede detectar diferencias estadísticas para el índice de Carr y Hausner en los almidones oxidados, mientras que en los almidones acetilados no se detectan estas diferencias, lo anterior infiere que la reacción de acetilación no produce diferencias estadísticamente significativas en las propiedades derivadas del almidón, no obstante, la reacción de oxidación si produce diferencias significativas en estas propiedades; adicional se puede deducir que mientras el grado de modificación aumente, la compresibilidad del almidón mejorara.

Gráfica 19. Densidad aparente de almidón nativo y modificado con respecto a los grados de sustitución

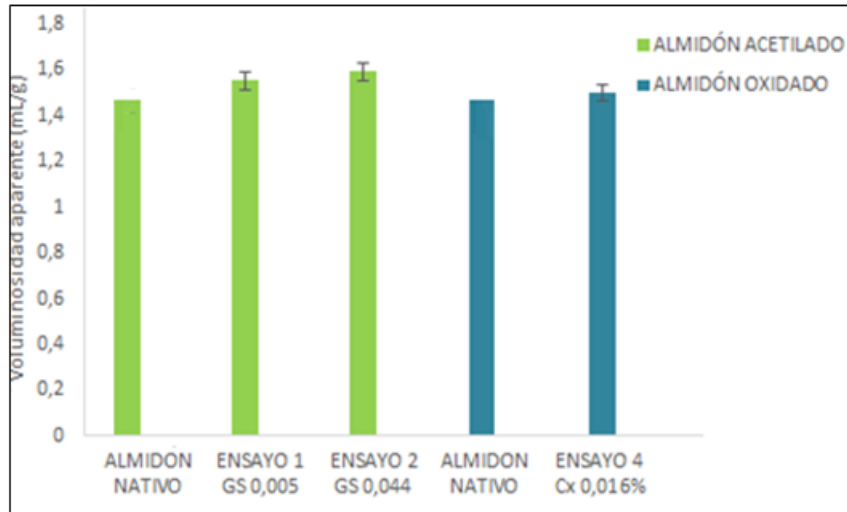


Gráfica 20. Densidad apisonada de almidón nativo y modificado con respecto a los grados de sustitución

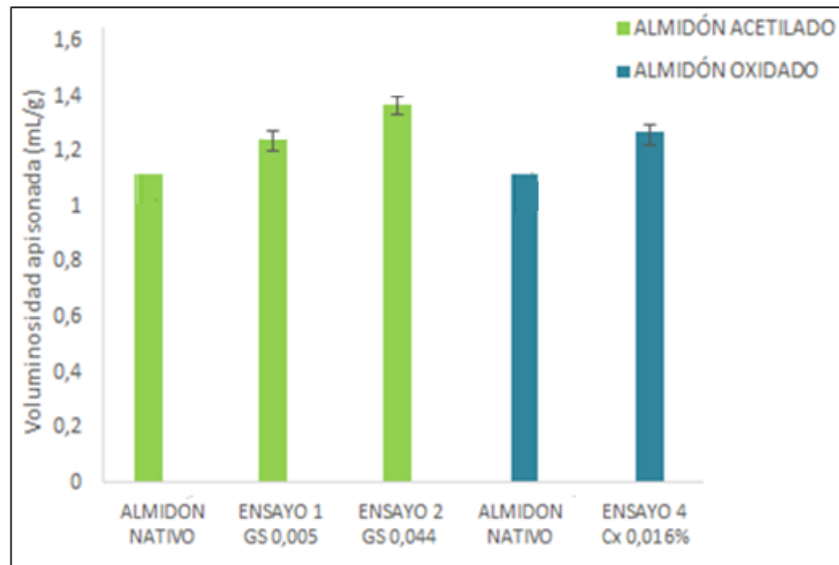


A partir de los resultados anteriores se obtiene la voluminosidad aparente y apisonada (Gráfica 21 y 22), el índice de Carr y Hausner (Gráfica 23 y 24).

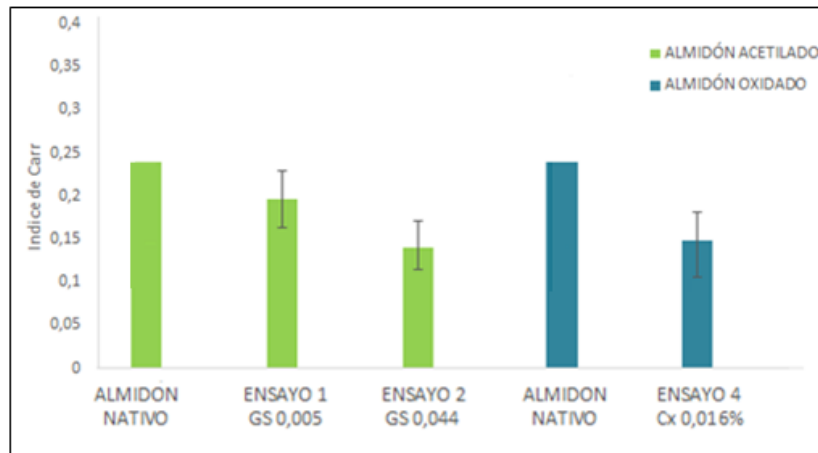
Gráfica 21. Voluminosidad aparente del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución



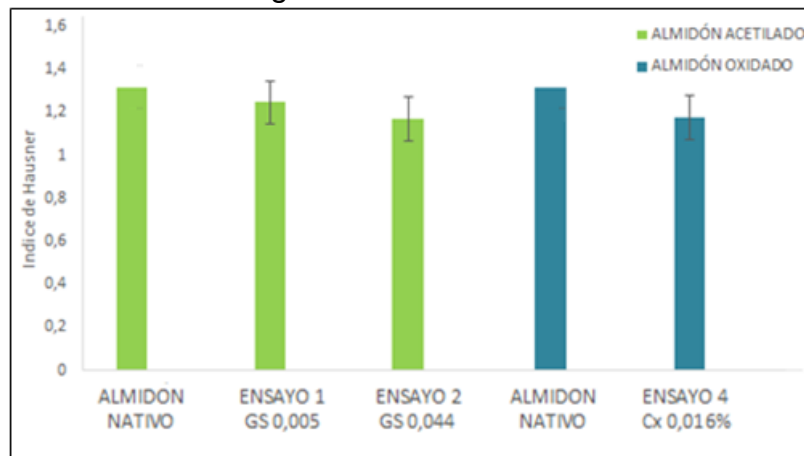
Gráfica 22. Voluminosidad apisonada del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución



Gráfica 23. Índice de Carr del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución



Gráfica 24. Índice de Hausner del almidón nativo y modificado con relación al grado de sustitución



5. CONCLUSIONES

- Se encuentra que los parámetros que inciden en el proceso de modificación en el almidón nativo, están directamente relacionados con los altos contenidos de humedad e impurezas (pulpa), los cuales no permiten realizar la modificación de manera correcta.
- Se modifica el almidón de papa haciendo uso del anhídrido acético, llevando a cabo una reacción de acetilación, lo anterior se demuestra mediante los espectros de infrarrojo donde se detecta un cambio en el espectro en relación al del almidón nativo y a partir de la determinación del grado de sustitución.
- Se modifica el almidón de papa mediante el uso de hipoclorito de sodio (NaOCl). No obstante se observa que hacer uso de este reactivo al 0,5% de cloro activo no permite la modificación debido a la baja concentración, sin embargo, la reacción realizada con 1% de cloro activo, a pesar de no presentar cambios en el espectro infrarrojo, si presenta variaciones en el porcentaje de grupos carbonilos y carboxilos con respecto al almidón nativo.
- Se observa que las propiedades físicas, químicas y farmacotécnicas varían con respecto al grado de sustitución, sin embargo algunas como la temperatura de gelatinización no presentan una tendencia clara de aumento o disminución, y otras que dependen de variables diferentes al grado de sustitución como la viscosidad, claridad en las dispersiones, sinéresis y solubilidad en agua fría y caliente, presentan cambios notables en referencia al almidón nativo.
- Mediante el índice de Carr y Hausner se determina que los almidones modificados mejoran su fluidez con respecto a la del almidón nativo, por lo que su compresibilidad se considera buena, es decir que los almidones modificados pueden llegar a ser utilizados como excipientes en el diseño de formas farmacéuticas por compresión directa, siendo los acetilados los que mejor aplicación podrían tener.

6. RECOMENDACIONES

Para posteriores trabajos de grado se recomienda modificar el almidón con grados de sustitución más altos, variando los tiempos de reacción y utilizando otros reactivos modificantes, tanto para la oxidación como para la acetilación, con el fin de evaluar los cambios que se presentan; también se puede evaluar la aplicación de otros métodos de modificación ya sean químicos, físicos o enzimáticos.

BIBLIOGRAFIA

ACUÑA PINTO, Harold Mauricio. *Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Tesis de Especialista en Ciencias y Tecnología de Alimentos* . Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2012.

ANDRÉS CABRERIZO, Dulce. *Ciencias aplicadas a la actividad profesional 4° ESO*. s.l. : EDITEX. pág. 19.

Anonimo [En línea]
<http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/05/centrifuga.html>. Consulta: 2 Octubre 2016

Anonimo. [En línea]
<https://equiposdelaboratorio.wordpress.com/2012/02/23/espectrofotometro-uso-y-caracteristicas/>. Consulta: 2 Octubre 2016

Anonimo. Scribd. *Extracción de almidón de la papa*. [En línea] [Citado el: Martes, 1 de Noviembre de 2016.] <https://es.scribd.com/doc/56120167/Extraccion-de-almidon-de-la-papa>.

BINDER. Camaras de calor y secado. [En línea] [Citado el: Martes, 27 de Septiembre de 2016.] <https://www.binder-world.com/es/Productos/C%C3%A1maras-de-calor-y-de-secado-Classic.Line>. Consulta: 2 Octubre 2016

BROOKFIELD. [En línea]. <http://www.brookfieldengineering.com/>. Consulta: 7 Octubre 2016

CALA CASTILLO, Cesar Andres y MARTINEZ MURCIA, Johana Stefany. *Modificación hidrolítica de almidón de yuca nativo con enzima α -amilasa bacteriana aislada de Bacillus subtilis para la elaboración de salsas. Trabajo de grado Ingeniería de Alimentos*. Bogotá, Colombia : Universidad de la Salle, 2008.

CARMONA CAMARGO , Jesús y PATERNINA URZOLA, Sergio. . *Evaluación de la modificación vía enzimática del almidón de ñame (Dioscorea trifida) utilizando α -amilasa (Termamyl® 120 L, Tipo L) para sus posibles aplicaciones industriales. Trabajo de grado Biólogo con énfasis en Biotecnología*. Sincelejo, Colombia : Universidad de Sucre, 2007.

CARRASCAL SANCHEZ, Juan Jose. *Acetilación de almidón de Arracacia xanthorriza y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2013.

CASTRO ZAVALA, Victor. *Composición bioquímica de productos agroindustriales*. Nuevo Chimbote : Universidad Nacional del Santa, 2014.

Degradación física del almidón de cebada (Hordeum sativum Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. PRIETO MENDEZ, Judith, et. al. 2, 30 de Junio de 2009, En: Multiciencias, Vol. 9, págs. 115 - 125.

Efecto de oxidación de almidón de yuca sobre propiedades mecánicas y térmicas de películas biodegradables. BONILLA M, Rocio, HOYOS, José Luis y VELASCO, Reinaldo. 1, s.l. : Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2013, Vol. 11, págs. 208 - 217.

EN GENERICO. [En línea] <http://www.engenerico.com/que-es-un-excipient/>.

FAO "Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura". La papa. [En línea] 2008. [Citado el: Miércoles, 7 de Septiembre de 2016.] <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>.

GROMMERS, Hielko E. y VAN DER KROGT, Do A. Potato Starch: Production, Modifications and Uses. *En: Starch: Chemistry and Technology*. 3 Ed. New York : s.n., 2009.

GUERRA DELLA VALLE, Denisse. *Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (Musa paradisiaca L). Tesis de Magister en Ciencias en Desarrollo de productos bióticos*. Yaupetec, Morelos, México : Instituto Politécnico Nacional, 2007.

HERRERA MARQUEZ, Alberto Enrique. *Evaluación de la influencia del grado de acetilación del almidón de arracacha (Arracacia xanthorriza) sobre algunas de sus propiedades fisicoquímicas. Tesis de Magister en Ciencias Farmacéuticas*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia , 2014.

INSTITUTO COLOMBIANO DENORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC1486. Sexta actualización. Bogotá.D.C: El instituto, 2008. 110 p

INSTITUTO COLOMBIANO DENORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C: El instituto, 2008. 38 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DENORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN.
Referencias documentales, para fuentes de informaciones electrónicas. NTC
4490. Bogotá D.C: El instituto, 2008. 30 p.

MIRANDA CARVAJAL, Ingrid Johanna y PEREZ RODRIGUEZ, Erika Nereida.
*Obtención de almidón modificado reactivo para la sustitución de polioles en la
producción de poliuretanos. Trabajo de grado Química Pura.* Bucaramanga,
Colombia : Universidad Industrial de Santander, 2004.

ÑUSTEZ L., Carlos Eduardo . Variedades Colombianas de papa. [En línea] 2010.
[Citado el: Miercoles, 7 de Septiembre de 2016.]
<http://www.papaunc.com/catalogo.shtml> .

*Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de
materiales de empaque biodegradables: Caracterización física, química, térmica y
morfológica.* GARCIA TEJADA, Yunia Veronica y ZAMUDIO FLORES, Paul Baruk.
3, Yaupetec : Revista Iberoamericana de polimeros, 2011, Vol. 12.

PCE IBERICA. [En línea] [http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-
medida/analizadores/analizadores-humedad.htm](http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/analizadores/analizadores-humedad.htm). Consulta: 2 Octubre 2016

*Propiedades funcionales de almidón de papa (Solanum tuberosum) y su
modificación química por acetilación.* G Vargas, P Martinez y C Velezmoro. 3,
Lima : Universidad Nacional de Trujillo, 2016, Scientia Agropecuaria, Vol. 7, págs.
223-230.

RIVAS GONZÁLEZ , Mayra. *Almidón acetilado de plátano: caracterización
fisicoquímica y molecular. Tesis de Doctorado en Ciencia de los Alimentos.*
Querétaro : Universidad autónoma de Querétaro. Facultad de Química, 2012.

RODRÍGUEZ MARÍN, María Luisa. *Efecto de tres agentes entrecruzantes sobre
las propiedades fisicoquímicas y características morfológicas del almidón de
plátano. Tesis de Maestría en Ciencias en desarrollo de productos bióticos.*
Yautepec : Instituto Politécnico Nacional, 2009.

SANCHEZ RIVERA, Mirna María. *Modificación por oxidación del almidón de
plátano (Musa paradisiaca L.) y su caracterización parcial. Tesis de Maestría en
Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos.* Yaupetec : Instituto Politécnico
Nacional, 2004.

SHIMADZU. [En línea] [http://www.upc.edu/sct/es/equip/49/espectrofotometro-
infrarrojo-ftir.html](http://www.upc.edu/sct/es/equip/49/espectrofotometro-infrarrojo-ftir.html). Consulta: 2 Octubre 2016

SIERRA OSEJOS, Edwin Napoleón . *Caracterización de clones seleccionados de
papa (Solanum tuberosum) y evaluación de cinco fungicidas para el control de
"lancha" (Phytophthora infestans). San Pedro de Huaca – CARCHI. Trabajo de*

grado Ingeniero Agrónomo. . Quito, Ecuador : Universidad Central del Ecuador, 2008.

SULBARAN RUIZ , Alexander Enrique. *Acetilación de almidón de millo y evaluación de su posible aplicación como posible auxiliar farmacéutico*. Tesis de Magister en Ciencias Farmacéuticas. . Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia , 2013.

TERMOMETRO. [En línea]. https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/termometro-kat_70677_1.htm. Consulta: 7 Octubre 2016

THERMO SCIENTIFIC . [En línea] <http://acequilabs.com.co/productos/equipos-para-laboratorio/planchas-de-calentamiento/plancha-de-calentamiento-digital-detail.html> . Consulta: 2 Octubre 2016

THERMO SCIENTIFIC. [En línea]
<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/TSGP05?ICID=search-product>. Consulta: 2 Octubre 2016


TUPA VALENCIA, Maribel Victoria. *Desarrollo de una metodología sostenible de síntesis de almidones acetilados*. Tesis de Maestría en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de Alimentos. s.l. : Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 2015.

TURESSO, Susana. *El Almidón*. Santiago : s.n., 2012.

VISCASILLAS CLERCH, Anna. *Aportación al diseño de un nuevo excipiente tipo "Coprocesed product" para compresión directa*. Tesis de doctorado en Farmacia y Tecnología Farmacéutica. Barcelona : Universitat de Barcelona, 2008.

ZAMUDIO FLORES, Paul Baruk. *Elaboración de películas degradables de almidón de plátano: evaluación de sus propiedades mecánicas y de barrera*. Tesis de Magister en Ciencias en desarrollo de productos bióticos. Yaupetec, Morelos : Instituto Politécnico Nacional, 2005.

ANEXOS


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Marzo - 2017

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotras Carol Alejandra Arenas Riaño y Diana Julieth Pedraza Guarnizo en calidad de titulares de la obra Evaluación de la modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio elaborada en el año 2016 , autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Marzo - 2017

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., al 01 día del mes de marzo del año 2017.

LAS AUTORAS:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Carol Alejandra	Arenas Riaño
Documento de identificación No	Firma
1031150815	CAROL ARENAS

Autor 2

Nombres	Apellidos
Diana Julieth	Pedraza Guarnizo
Documento de identificación No	Firma
1014253733	Julieth Pedraza G