



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL GRADO DE
ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARRACACHA
(*Arracacia xanthorriza*) SOBRE ALGUNAS DE SUS
PROPIEDADES FISICOQUIMICAS.**

Alberto Enrique Herrera Márquez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad ciencias, Departamento Farmacia

Bogotá D.C., Colombia

2014

**EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL GRADO DE
ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARRACACHA
(*Arracacia xanthorriza*) SOBRE ALGUNAS DE SUS
PROPIEDADES FISICOQUIMICAS**

Alberto Enrique Herrera Márquez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Farmacéuticas

Directora:

YOLIMA BAENA ARISTIZABAL., QF, MSc, DSc

Codirector:

GERMAN EDUARDO MATIZ MELO, QF, DSc

Línea de Investigación:

Alternativas de aprovechamiento farmacéutico de productos y subproductos de
fuentes naturales

Grupo de Investigación:

TECPRONA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento Farmacia

Bogotá D.C., Colombia

2014

*Con mucho amor y respeto para mis
padres, hermanos y esposa.*

Agradecimientos

*Agradezco primeramente a **Dios** por todas las cosas bellas que me ha dado, por su compañía y fidelidad.*

*A la empresa **Procaps S.A.** por brindarme las herramientas necesarias en la ejecución de este trabajo.*

*A la profesora **Yolima Baena Aristizabal** por su dirección y sus importantes contribuciones.*

*Al profesor **Germán Matiz** y con él a la **Universidad de Cartagena**, por prestarme sus instalaciones para la realización de ciertos ensayos del proyecto.*

*A todos los profesores de la **Maestría en Ciencias Farmacéuticas de la Universidad Nacional** por las enseñanzas recibidas a lo largo de estos semestres.*

*A mi colegas **Indira Pájaro, Jeisy Lagares, Dayana Herrera** por ayudarme incondicionalmente en la elaboración de esta investigación, por la amistad brindada y colaboración.*

*A mi **familia** por su amor, respeto y apoyo.*

Resumen

En este estudio se realizó la acetilación en distintos grados de sustitución (GS) del almidón de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) con anhídrido acético (Ac_2O) al 99 % de pureza, empleando diferentes volúmenes. Se confirmó la modificación química realizada por análisis de espectroscopia IR y las propiedades fisicoquímicas fueron determinadas y comparadas con el almidón de maíz comercial utilizado como referencia en la investigación. El porcentaje de acetilos y GS aumentaron con el incremento del volumen de Ac_2O . La acetilación provocó aumento en el poder de hinchamiento, la absorción de agua y la solubilidad de los almidones. La retrogradación, temperatura de gelatinización, porcentaje de sinéresis y viscosidad aparente disminuyeron con la acetilación en todas las especies estudiadas. Los cambios en las propiedades del almidón nativo por la acetilación mejoran su aplicación a nivel farmacéutico. Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre las propiedades del almidón modificado de Arracacha, obteniéndose correlaciones positivas para el GS y todas las propiedades fisicoquímicas, el poder de hinchamiento, absorción de agua y sólidos solubles; al igual que la viscosidad y las propiedades térmicas. El poder de hinchamiento, sólidos solubles y absorción de agua se correlacionaron negativamente con la sinéresis. El análisis de correlación entre las propiedades fisicoquímicas y el GS de almidones modificados, aporta valiosa información a los mecanismos que contribuyen a las propiedades funcionales de los almidones.

Palabras clave: Almidón, acetilación, anhídrido acético, Arracacha, correlación de Pearson.

Abstract

In this study the acetylation was performed in different degrees of substitution (GS) of Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) starch with Ac_2O 99 % purity, used different volumes. Chemical modification was confirmed by IR spectroscopic analysis and physicochemical properties were determined and compared with commercial corn starch used as a reference in the research. GS increased with increasing volume of Ac_2O Acetylation leads to increased swelling power, water absorption and solubility of the starches. Retrogradation, pasting temperature, percentage of syneresis and apparent viscosity decreased with acetylation in all species studied. The changes in the properties of native starch for improving the acetylation level application to pharmaceuticals. Analysis Pearson correlation between the properties of the modified Arracacha starch yielding positive correlations for GS and all physicochemical properties, swelling power, absorption of water and soluble solids also had positive correlation as the viscosity was performed and thermal properties. The swelling power, soluble solids and water absorption were negatively correlated with syneresis. The correlation analysis of the physicochemical properties and GS of modified starches, provides valuable information to the mechanisms that contribute to the functional properties of the starches.

Keywords: Starch, acetylation, acetic anhydride, Arracacha, Pearson`s correlation.

Contenido

Capítulo 1. Marco Teórico	5
1.1. Almidón	5
1.1.1. Generalidades del almidón.....	5
1.1.2. Estructura y composición química del almidón.....	6
1.1.3. Propiedades del almidón.....	7
1.1.3.1. Gelatinización del almidón.	7
1.1.3.2. Retrogradación del almidón.	8
1.1.3.3. Sinéresis.....	9
1.1.3.4. Viscosidad aparente.....	9
1.1.4. Técnicas de análisis de las propiedades de los almidones.....	10
1.1.4.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	11
1.2. Sustitución química de almidones por acetilación	14
1.3. Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	16
1.3.1. Origen de la Arracacha.	17
1.3.2. Estructura y composición química del almidón.....	17
1.3.3. Sinonimia y nombres vulgares de la Arracacha.....	18
1.3.4. Clasificación Taxonómica de la Arracacha.....	18
1.3.5. Composición química	19
1.4. Herramientas de análisis de datos	21
1.4.1. Coeficiente de Correlación de Pearson.....	21
1.5. Estado del arte	22
Capítulo 2. Metodología	29
2.1. Materiales, equipos y métodos	29
2.1.1. Materiales y Reactivos	29
2.1.2. Equipos.....	29
2.2. Métodos	30
2.2.1. Extracción del almidón nativo de Arracacha	30
2.2.2. Acetilación del almidón nativo de Arracacha y Maíz.....	31
2.2.3. Determinación del porcentaje de acetilos (%A) en almidones modificados ...	32
2.2.4. Determinación del grado de sustitución (GS) en almidones modificados	34
2.2.5. Determinación de grupos sustituidos por Espectroscopia IR en almidones modificados	34
2.2.6. Determinación del poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y sólidos solubles en almidones nativos y acetilados	35
2.2.7. Determinación de la viscosidad aparente en suspensiones de almidones nativos y acetilados	37
2.2.8. Determinación de la Sinéresis.....	38
2.2.9. Determinación de propiedades térmicas de los almidones por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	39
2.2.9.1. Determinación de la gelatinización	39
2.2.9.2. Determinación de la retrogradación	39
2.3. Análisis estadístico de los datos recolectados	40

Capítulo 3. Resultados y Discusión	41
3.1. Extracción de almidón de arracacha	41
3.2. Obtención de almidones acetilados.....	41
3.3. Caracterización por espectroscopia infrarroja	43
3.4. Determinación de grado de sustitución y porcentaje de acetilación.....	49
3.5. Determinación de poder de hinchamiento, sólidos solubles y absorción de agua.	51
3.6. Determinación de sinéresis	56
3.7. Determinación de la viscosidad	58
3.8. Determinación de propiedades térmicas	60
3.8.1. Temperatura de gelatinización	60
3.8.2. Temperatura de retrogradación	62
3.9. Determinación del Coeficiente de Pearson	65
3.9.1. Correlación entre el Grado de sustitución y Poder de hinchamiento.....	65
3.9.2. Correlación de Grado de sustitución y Propiedades Térmicas	67
3.9.3. Correlación de Grado de sustitución y Sinéresis	69
3.9.4. Correlación de Grado de sustitución y viscosidad	72
3.9.5. Correlación de Temperatura de gelatinización y Poder de Hinchamiento	74
3.9.6. Correlación de Viscosidad y Poder de Hinchamiento	75
3.9.7. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento	76
3.9.8. Correlación de Sólido Solubles y Poder de Hinchamiento	78
3.9.9. Correlación de Sinéresis y Viscosidad	79
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones	82
4.1. Conclusiones.	82
4.2. Recomendaciones.	85
5. ANEXO A: DATOS PRIMARIOS DE PODER DE HINCHAMIENTO EN DIFERENTES TEMPERATURAS DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ	87
6. ANEXO B: DATOS PRIMARIOS DE SÓLIDOS SOLUBLES DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ	89
7. ANEXO C: DATOS PRIMARIOS DE ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ	90
8. ANEXO D: DATOS PRIMARIOS DE SINÉRESIS	91
9. ANEXO E: DATOS PRIMARIOS DE VISCOSIDAD	92
10. ANEXO F: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR	93
11. ANEXO G: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS TEST DE COMPARACIÓN DE TUKEY	97
12. ANEXO H: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS TEST DE COMPARACIÓN DE DUNNET	104
Bibliografía	109

Lista de figuras

Figura 1-1. Estructura de la Amilosa (3)	6
Figura 1-2. Estructura de la Amilopectina (43)	6
Figura 1-5. Reacción de acetilación del Almidón. (54).....	15
Figura 1-6. Planta y tubérculo de la Arracacha (56).	16
Figura 2-7. Proceso de obtención de almidón de Arracacha.	31
Figura 2-8. Acetilación de almidones nativos.	32
Figura 2-9. Titulación de almidones acetilados.....	33
Figura 2-10. Equipo IR de reflectancia difusa.....	35
Figura 2-11. Montaje para la determinación del poder de hinchamiento, Sólidos solubles y Absorción de agua	37
Figura 2-12. Determinación de viscosidad aparente.....	38
Figura 2-13. Tubos con suspensiones de almidón	38
Figura 2-14. Análisis de muestras por DSC.	39
Figura 3-15. Espectro de IR para MN y M2, 5	43
Figura 3-16. Espectro de IR de MN y M4	43
Figura 3-17. Espectro de IR de MN y M6	44
Figura 3-18. Espectro de IR para MN y M10	44
Figura 3-19. Espectro IR de AN y A 2, 5	45
Figura 3-20. Espectro de IR para MN y M15	45
Figura 3-21. Espectro de IR de AN y A4	46
Figura 3-22. Espectro de IR de AN y A6	46
Figura 3-23. Espectro de IR de A15 y AN	47
Figura 3-24. Espectro de IR de AN y A10	47
Figura 3-25. Termograma DSC de almidón de Maíz nativo vs acetilados.	61
Figura 3-26. Termograma DSC de almidón de Arracacha nativo vs acetilados.	62
Figura 3-27. Termograma DSC de Retrogradación de almidón de Maíz nativo vs acetilados.....	64
Figura 3-28. Termograma DSC de Retrogradación de almidón de Arracacha nativo vs acetilados.....	64

Lista de tablas

Tabla 1-1. Clasificación taxonómica de la Arracacha (58).	18
Tabla 1-2. Composición química de la Arracacha (58).	20
Tabla 3-3. Rendimientos para la obtención de los almidones acetilados.	41
Tabla 3-4. Muestras de almidones nativos y acetilados.....	42
Tabla 3-5. %A y GS en almidones acetilados.	49
Tabla 3-6. Temperatura de gelatinización y de retrogradación.	60
Tabla 3-7. Coeficientes de correlación de Pearson entre varias propiedades de los almidones modificados.	81
Tabla 8. A-1. Datos primarios de Poder de Hinchamiento de almidones de Maíz.....	87
Tabla 9.A-2. Datos primarios de Poder de Hinchamiento de almidones de Arracacha ...	88
Tabla 10. B-1. Datos primarios de Sólidos Solubles de almidones de Maíz.....	89
Tabla 11.B-2. Datos primarios de Sólidos Solubles de almidones de Arracacha.	89
Tabla 12.C-1 Datos primarios de Índice de Absorción de almidones de Maíz	90
Tabla 13.C-2 Datos primarios de Índice de Absorción de almidones de Arracacha	90
Tabla 14. D-1 Datos primarios de Sinéresis para almidones de Maíz.....	91
Tabla 15.D-2 Datos primarios de Sinéresis para almidones de Arracacha	91
Tabla 16.E-1 Datos primarios de viscosidades de almidones de Maíz	92
Tabla 17.E-2 Datos primarios de viscosidades de almidones de Arracacha	92
Tabla 18. F-1 Análisis de Varianza de un factor de %A de almidones de Maíz.....	93
Tabla 19.F-2 Análisis de Varianza de un factor de %A de almidones de Arracacha	93
Tabla 20. F-3 Análisis de Varianza de un factor de GS de almidones de Maíz.....	93
Tabla 21..F-4 Análisis de Varianza de un factor de GS de almidones de Arracacha	94
Tabla 22. F-5 Análisis de varianza de un factor para poder de hinchamiento de Almidones de Maíz	94
Tabla 23.F-6 Análisis de varianza de un factor para poder de hinchamiento de Almidones de Arracacha.....	94
Tabla 24. F-7 Análisis de varianza de un factor para sólidos solubles de Almidones de Maíz	95
Tabla 25. F-8 Análisis de varianza de un factor para sólidos solubles de Almidones de Arracacha.....	95
Tabla 26. F-9 Análisis de varianza de un factor para Absorción de agua de Almidones de Maíz	95
Tabla 27.F-10 Análisis de varianza de un factor para Absorción de agua de Almidones de Arracacha.....	95
Tabla 28. F-11 Análisis de varianza de un factor para Sinéresis de Almidones de Maíz 96	

Tabla 29. F-12 Análisis de varianza de un factor de Sinéresis para Almidones de Arracacha	96
Tabla 30. F-14 Análisis de varianza de un factor de Viscosidad para Almidones de Maíz	96
Tabla 31. F-15 Análisis de varianza de un factor de Viscosidad para Almidones de Arracacha	96
Tabla 32. G-1 Test de comparación múltiple Tukey de %A de Almidones de Maíz	97
Tabla 33. G-2 Test de comparación múltiple Tukey de %A de Almidones de Arracacha	97
Tabla 34. G-3 Test de comparación múltiple Tukey de GS para Almidones de Maíz	98
Tabla 35. G-4 Test de comparación múltiple Tukey de GS para Almidones de Arracacha	98
Tabla 36. G-5 Test de comparación múltiple Tukey de Poder de Hinchamiento para almidones de Maíz	99
Tabla 37. G-6 Test de comparación múltiple Tukey de Poder de Hinchamiento para almidones de Arracacha	99
Tabla 38. G-7 Test de comparación múltiple Tukey de sólidos solubles de Almidones de Maíz	100
Tabla 39. G-8 Test de comparación múltiple Tukey de sólidos solubles de Almidones de	100
Tabla 40. G-9 Test de comparación múltiple Tukey de Absorción de Agua de almidones de Maíz	101
Tabla 41. G-10 Test de comparación múltiple Tukey de Absorción de Agua de almidones de Arracacha	101
Tabla 42. G-11 Test de comparación múltiple Tukey de Sinéresis de almidones de Maíz	102
Tabla 43. G-12 Test de comparación múltiple Tukey de Sinéresis de almidones de Arracacha	102
Tabla 44. G-13 Test de comparación múltiple Tukey de viscosidad de Almidones de Maíz	103
Tabla 45. G-14 Test de comparación múltiple Tukey de viscosidad de Almidones de Arracacha	103
Tabla 46. H-1 Test de comparación múltiple Dunnet para poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz	104
Tabla 47. H-2 Test de comparación múltiple Dunnet para poder de Hinchamiento de Almidones de Arracacha	104
Tabla 48. H-3 Test de comparación múltiple Dunnet para sólidos solubles de Almidones de Maíz	105
Tabla 49. H-4 Test de comparación múltiple Dunnet para sólidos solubles de Almidones de Arracacha	105
Tabla 50. H-5 Test de comparación múltiple Dunnet para Absorción de agua de Almidones de Maíz	105

Tabla 51. H-6 Test de comparación múltiple Dunnet para Absorción de agua de Almidones de Arracacha	106
Tabla 52. H-7 Test de comparación múltiple Dunnet para Sinéresis para Almidones de Maíz	106
Tabla 53. H-8 Test de comparación múltiple Dunnet para Sinéresis para Almidones de Arracacha.....	106
Tabla 54.H-9 Test de comparación múltiple Dunnet para viscosidad para almidones de Maíz	107
Tabla 55. H-10 Test de comparación múltiple Dunnet para viscosidad para almidones de Arracacha.....	107

Lista de gráficos

Gráfica 3-1. Cuantificación de % de Acetilos (A) y GS (B).....	49
Gráfica 3-2. Poder de hinchamiento de almidones de Maíz	51
Gráfica 3-3. Poder de hinchamiento de almidones de Arracacha.....	51
Gráfica 3-4. Sólidos solubles de almidones de Maíz	53
Gráfica 3-5. Sólidos solubles de almidones de Arracacha.....	53
Gráfica 3-6. Índice de absorción de agua de almidones de Maíz	54
Gráfica 3-7. Índice de absorción de agua de almidones de Arracacha.....	54
Gráfica 3-8. % de Sinéresis de almidones de Maíz	56
Gráfica 3-9. % de Sinéresis de almidones de Arracacha.....	57
Gráfica 3-10. Viscosidad de almidón de Maíz	58
Gráfica 3-11. Viscosidad de almidones de Arracacha	59
Gráfica 3-12. Correlación de GS vs Poder de hinchamiento	65
Gráfica 3-13. Correlación de Grado de sustitución y Propiedades Térmicas de Almidones de Maíz.....	68
Gráfica 3-14. Correlación de Grado de Sustitución y Propiedades Térmicas de Almidones de Arracacha.....	68
Gráfica 3-15. Correlación de Grado de Sustitución y Sinéresis de Almidones de Maíz ...	70
Gráfica 3-16. Correlación de Grado de Sustitución y Sinéresis de Almidones de Arracacha	70
Gráfica 3-17. Correlación de Grado de Sustitución y Viscosidad de Almidones de Maíz.	72
Gráfica 3-18. Correlación de Grado de Sustitución y Viscosidad de Almidones de Arracacha.	72
Gráfica 3-19. Correlación de Tg °C y poder de hinchamiento de Almidones de Maíz y Arracacha	74
Gráfica 3-20. Correlación de Viscosidad y Poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz y Arracacha.....	75
Gráfica 3-21. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz.....	77
Gráfica 3-22. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento de Almidones de Arracacha	77
Gráfica 3-23. Correlación de Sólidos Solubles y Poder de Hinchamiento de Almidón de Maíz.....	78
Gráfica 3-24. Correlación de Sólidos Solubles y Poder de Hinchamiento de Almidón de Arracacha	79
Gráfica 3-25. Correlación de Sinéresis y Viscosidad de Almidones de Maíz y Arracacha	80

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Término
N	Normalidad
%p/v	Porcentaje peso/volumen
g	Gramos
hr	Hora
min.	Minuto
mL	Mililitros
°C	Grados celsius
Kg	Kilogramo

Abreviaturas

Abreviatura	Término
%A	Porcentaje de acetilos
AA	Absorción de Agua
Ac ₂ O	Anhídrido Acético
DSC	Calorimetría Diferencial de Barrido
GS	Grado de sustitución
PH	Poder de Hinchamiento
rpm	Revoluciones por minuto
SS	Sólidos Solubles
To	Temperatura de inicio
Tp	Temperatura de pico
Tf	Temperatura final
ΔH	Entalpía de Gelatinización

Introducción

La utilización de materiales obtenidos de productos naturales en los últimos años ha sido de gran importancia para el desarrollo de la industria cosmética, farmacéutica y de alimentos. Es deseable la obtención de materiales, con mejores propiedades para competir comercialmente (1). El almidón es uno de los materiales de gran interés en las industrias cosmética, farmacéutica y de alimentos, debido a sus características fisicoquímicas. Es obtenido de fuentes naturales lo que representa un bajo costo de producción y además es una fuente de recurso renovable lo que permite ser considerado de gran valor y versatilidad a nivel industrial.

El almidón es un biopolímero semicristalino que sirve como un carbohidrato de reserva en muchas plantas, incluyendo cereales, raíces, tubérculos, semillas y frutas. Los gránulos de almidón pueden variar en forma, tamaño, estructura, y composición química, dependiendo de donde es originario (2,3). El almidón ha sido ampliamente utilizado en una gran variedad de productos, ya sea como un ingrediente alimenticio o como un material industrial. La producción total anual a nivel mundial de almidón es de aproximadamente 60 millones de toneladas. (4). Los gránulos de almidón están constituidos por dos polímeros, amilosa y amilopectina, que a su vez están formados por unidades de α -D-glucosa (5). La estructura del gránulo de almidón depende de la forma en que la amilosa y la amilopectina se asocian y distribuyen en todo el gránulo (2).

La calidad del almidón nativo y sus parámetros de calidad pueden variar dependiendo de la especie vegetal de la que proviene. Es así que características como la morfología, el tamaño y la forma de los gránulos, la temperatura y la entalpía de gelatinización, el aspecto de la pasta, susceptibilidad enzimática, la cristalinidad, la solubilidad y el hinchamiento son diferentes dependiendo del origen (6). Es de destacar que estas propiedades cambian y en la mayoría de los casos pueden mejorar, teniendo presente una futura aplicación farmacéutica, cuando son modificados químicamente.

Los almidones nativos pueden ser, en algunos casos menos eficientes debido a que la naturaleza de su estructura reduce su uso en ciertas aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis. Estas limitaciones son factibles de superar al modificarlos por métodos químicos, físicos y enzimáticos (7), que buscan la obtención de las características específicas deseadas y de esta manera ampliar su gama de aplicaciones en los distintos sectores industriales (2,4).

Las limitaciones anteriores se pueden superar derivatizando la estructura nativa a través de métodos químicos, físicos y enzimáticos (8) dando como resultado un almidón modificado; se incluye entre estos a los almidones hidroxipropilados, de enlaces cruzados y acetilados (9). Estos almidones generalmente muestran mejor estabilidad, menor tendencia a la retrogradación y aumento a resistir condiciones de congelamiento-deshielo (10,11). Whistler y colaboradores, reportaron que la presencia de grupos acetilos interfería con el reagrupamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina durante el enfriamiento de las moléculas del almidón después de que éstas fueron gelatinizadas (12).

La acetilación es un tipo de modificación química por esterificación, en la cual se sustituyen sus grupos hidroxilos por grupos acetilos que le brindan mayor estabilidad, variando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones (13). Varios autores han llevado a cabo la modificación química por acetilación de diferentes fuentes (Maíz, Plátano, Arroz, Semillas del fruto del pan, Cebada, Papa, Yuca, Frijol, entre otros), obteniendo tras la esterificación mejor estabilidad, menor tendencia a la retrogradación y sinéresis, menor temperatura y entalpía de gelatinización, cambios en la solubilidad, capacidad de absorción de agua y viscosidad, mayor resistencia a condiciones de congelamiento-descongelamiento, y mejor comportamiento durante su procesamiento. (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26).

En los últimos años Colombia ha sido el país con la mayor producción de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en los países andinos, con 8342 hectáreas cultivadas en 14 departamentos, sin embargo, es un cultivo con poco desarrollo. La disponibilidad de este tipo de cultivo permite utilizar este recurso para el desarrollo tecnológico-científico y su posterior uso en los diferentes campos de la industria (alimentos, cosmética, polímeros y

farmacéutica), confiriéndole un valor agregado que podría permitir a futuro impulsar esta cadena productiva. Gracias a los estudios realizados para caracterizar la Arracacha en cuanto a su composición química, se ha dejado en evidencia su gran potencial debido al contenido de almidón, su principal constituyente, y las características del mismo.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, el objetivo general de esta investigación fue la modificación química por acetilación del almidón nativo de Arracacha, en cinco niveles de sustitución; con el fin de evaluar la influencia del grado de acetilación sobre algunas de sus propiedades fisicoquímicas, y por ende aportar información útil y valiosa para futuras investigaciones sobre este tipo de material. Para el cumplimiento de esta investigación, fue necesario:

- Modificar químicamente el almidón de arracacha por acetilación, controlando las variables de la reacción para obtener por lo menos cinco grados de sustitución.
- Evaluar las propiedades de hinchamiento, sinéresis y viscosidad de los materiales obtenidos, con el fin de establecer si existe algún grado de influencia entre el grado de acetilación y las propiedades estudiadas.
- Caracterizar las propiedades térmicas del almidón nativo y modificado, utilizando análisis térmico por el método de calorimetría diferencial de barrido (DSC), con el fin de evidenciar la incidencia que el grado de sustitución pueda tener sobre ellas.
- Establecer si existe alguna relación entre las propiedades térmicas evaluadas y su comportamiento en términos de hinchamiento, sinéresis y viscosidad, para cada uno de los materiales estudiados.

1. Capítulo. Marco Teórico.

1.1. Almidón

1.1.1. Generalidades del Almidón.

El almidón es el polisacárido, polímero de la glucosa, más abundante de la naturaleza. Así como el glucógeno en los animales, el almidón es esencialmente la energía de reserva de las plantas almacenada en forma de gránulos citoplasmáticos depositados en raíces, tubérculos, y otros tejidos. El almidón y sus productos derivados, han sido empleados con fines comerciales en la producción de alimentos, papel, telas y adhesivos, y poco a poco; ha venido ocupando lugares cada vez más importantes en la industria química y farmacéutica (27, 28, 29, 30,31).

Los almidones nativos más versátiles a lo largo de la historia han sido los de maíz, trigo, cebada, arroz, plátano, papa y tapioca (27). Aunque se han aprovechado sus propiedades en la alimentación, los almidones nativos presentan ciertas limitaciones (tamaño del gránulo, cristalinidad, longitud de la cadena, capacidad de hinchamiento, entre otras) para su aplicación a nivel industrial. Para estos fines en muchos casos ha sido necesario modificar algunas de sus propiedades por vías químicas, físicas, microbiológicas o por una combinación de ellas, con el objetivo de superar algunas de las limitaciones que posee o introducirle nuevas características (18). De este modo se obtienen compuestos de mayor utilidad en diferentes aplicaciones industriales. En la industria farmacéutica mundial, los almidones modificados han sido utilizados ampliamente como auxiliares de formulación o excipientes, incluyendo agentes aglutinantes, desintegrantes y diluentes (32,33, 34,37, 38, 39,40).

1.1.2. Estructura y composición química del almidón

El almidón se encuentra conformado por dos constituyentes principales, la amilosa y la amilopectina, ambos componentes de alto peso molecular. La amilosa (Ver Figura 1-1) está constituida por cadenas largas no ramificadas, en las que todas las unidades de D-glucosa (aproximadamente 250-300 unidades) se hallan unidas mediante enlaces α (1-4) y sus cadenas son poli dispersas. La amilopectina (Ver Figura 1-2) presenta muchas ramificaciones, constituidas aproximadamente por unas 12 unidades de glucosa que aparecen en promedio, cada 20-25 unidades de glucopiranosas. Los enlaces glucosídicos del esqueleto son α (1-4), pero los puntos de ramificación son enlaces α (1-6). Estos puntos de ramificación son resistentes a la hidrólisis por amilasas (14, 41,42).

Figura 1-1. Estructura de la Amilosa (3)

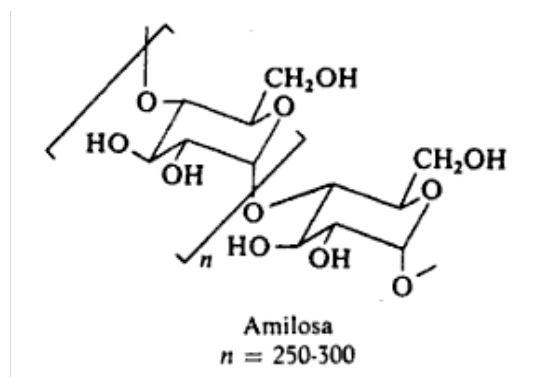
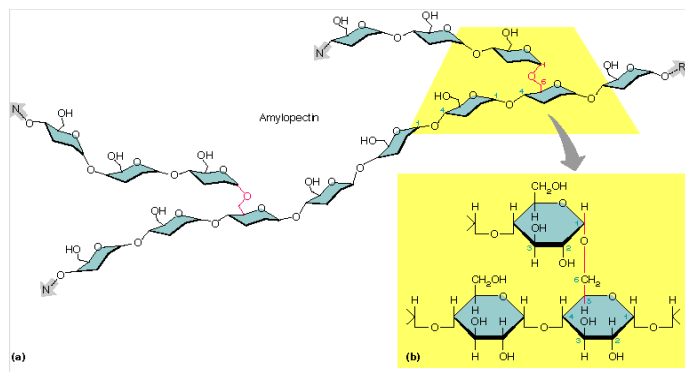


Figura 1-2. Estructura de la Amilopectina (43)



Todas las unidades de glucosa de la amilopectina son α -glucósidos, pero en las uniones de ramificación la glucosa tiene los hidroxilos 4- y 6- empleados en uniones glucósido. El agua caliente disuelve la amilosa, pero no la amilopectina lo que permite un método de separación. El grado de ramificación de una muestra se determina por metilación seguida de hidrólisis (43).

1.1.3. Propiedades del almidón

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en sus distintas aplicaciones industriales incluyen la gelatinización, la retrogradación, la sinéresis, la viscosidad, la solubilidad, el poder de hinchamiento, la absorción de agua, y el comportamiento reológico de sus pastas y geles (43). A continuación se describen algunas de estas propiedades.

1.1.3.1. Gelatinización del almidón

Los gránulos de almidón poseen un comportamiento característico. Cuando se exponen al agua fría, estos la absorben y se hinchan ligeramente de 10 a 20 %, debido a la difusión y absorción de agua en las regiones amorfas. El hinchamiento es un proceso que es reversible cuando se seca el almidón.

Cuando los granos de almidón se ponen en contacto con humedad y altas temperaturas, se produce una pasta y a esto se denomina proceso de gelatinización, el cual es irreversible (15). Este comportamiento se puede sustentar ya que los gránulos de almidón sometidos al agua caliente, se hinchan de tal forma que pierden el orden estructural. El hinchamiento es consecuencia de la absorción de agua por los grupos polares (hidroxilos) de la molécula. Si los gránulos continúan expandiéndose, la amilosa escapa de ellos hacia la fase intergranular acuosa, quedando dispersa mientras el material permanezca

caliente, y los gránulos hinchados se adhieren los unos a los otros. Estos cambios moleculares, son los responsables del aumento de la viscosidad de dispersiones de almidones nativos, sin embargo las modificaciones químicas realizadas al almidón cambian la estructura de la molécula y por lo tanto su capacidad de hinchamiento, esto se ve reflejado en la disminución de la viscosidad (44). En las dispersiones de almidones, formadas a partir de moléculas alargadas y de peso molecular elevado en solución, a medida que se aumenta el grado de sustitución, se incrementa el poder de hinchamiento, permitiendo la retención de agua dentro de la molécula; al someter la dispersión a un efecto de deslizamiento las moléculas tienden a separarse y alinearse en la dirección del flujo, esto ofrece una menor resistencia al flujo y esto unido a la liberación del agua atrapada es la causa de la disminución de la viscosidad (45). En conjunto, la ruptura de la estructura granular, el hinchamiento, la hidratación y la solubilización de las moléculas del almidón se definen con el término de gelatinización (46).

1.1.3.2. Retrogradación del almidón

La retrogradación es aquel proceso subsecuente a la gelatinización, el cual tiene lugar, cuando una dispersión de almidón se enfría. En este fenómeno, ocurre que las cadenas lineales de almidón se reasocian entre sí, a través sus múltiples grupos hidroxilos por medio de puentes de hidrógeno, para formar un precipitado insoluble; ésta asociación tiende a que se retenga agua en los intersticios (46, 47,48).

La amilosa retrograda mucho más rápido que la amilopectina, las cadenas de amilosa interactúan entre sí mediante puentes de hidrógeno, formando mallas tridimensionales y son responsables de los cambios reológicos iniciales de la pasta de almidón. Por otra parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a su estructura

altamente ramificada. La velocidad de retrogradación depende de varios factores como son la longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos, así como de la presencia de derivados de monoéster y fosfatos (47).

1.1.3.3. Sinéresis

La sinéresis es un fenómeno, que consiste en la liberación de líquidos (agua) del interior del gel de almidón, que se formó durante la gelatinización. Esto es ocasionado por el reagrupamiento interno de las moléculas de amilosa y amilopectina, que se da como producto de la retrogradación (49).

La interrelación entre estas propiedades, retrogradación, gelatinización y sinéresis, es fundamental para explicar el comportamiento de almidones y su funcionalidad como excipientes en la industria farmacéutica. La funcionalidad es la propiedad que es deseable en un excipiente para ayudar en la fabricación y que mejora las condiciones de la manufactura, la calidad o el desempeño del medicamento. Los almidones nativos y modificados son considerados como excipientes multifuncionales por la posibilidad de cumplir distintos objetivos en una formulación farmacéutica. Por ejemplo, los almidones pregelatinizados, se hinchan fuertemente y se emplean como vehículo para fármacos higroscópicos, como estabilizador de fármacos sensibles a la humedad y como desintegrantes, mientras que almidones pregelatinizados y posteriormente retrogradados consiguen obtener propiedades de cohesión (34, 50).

1.1.3.4. Viscosidad aparente

La medida de la viscosidad podría describirse como la resistencia al flujo o movimiento. La reología es definida como el estudio de las propiedades de flujo y deformación de la materia, y esta se utiliza para caracterizar y clasificar líquidos y

semisólidos. El conocimiento de las propiedades reológicas de materiales farmacéuticos resulta de gran importancia para el diseño, preparación, desarrollo e innovación de preparaciones y/o formas farmacéuticas. (48)

Los sistemas dispersos formados por los almidones de Maíz y Arracacha nativos y acetilados tienen la característica de no cumplir con la ley de Newton, ya que los valores de viscosidad varían con la velocidad de deslizamiento, por lo tanto, son denominados fluidos no newtonianos. El comportamiento descrito para este tipo de fluidos es llamado flujo pseudoplástico puesto que los valores de viscosidad disminuyen a medida que se aumenta gradualmente la velocidad de deslizamiento. La caracterización de materiales con este tipo de comportamiento no se puede determinar con un valor único de viscosidad, esta se puede establecer con la medida de una pendiente de una tangente en la curva en un punto determinado; estos valores reciben el nombre de viscosidad aparente. Para realizar una caracterización completa de un fluido pseudoplástico se debe determinar varias viscosidades aparentes y representarlas mediante una curva de flujo completa. (49)

1.1.4. Técnicas de análisis de las propiedades de los almidones

En esta investigación muchas son las técnicas de análisis utilizadas para la caracterización de las propiedades de los almidones nativos y acetilados entre las que nombramos la calorimetría diferencial de Barrido (DSC), debido a que es una técnica muy importante en el campo de la ciencia de materiales, ya que tiene un elevado grado de sensibilidad, versatilidad, eficacia y rápida velocidad de análisis, además se señala que es el método más utilizado para el análisis térmico (50).

1.1.4.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

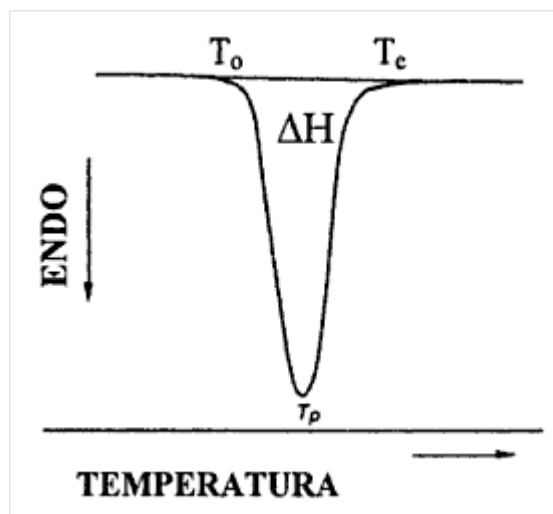
La calorimetría diferencial de barrido (DSC), es el método de análisis térmico más ampliamente utilizado en la industria farmacéutica. El enfoque implica la medición de las diferencias en la cantidad de calor entre una sustancia y un material de referencia en función de la aplicación de un calentamiento o enfriamiento lineal, obteniendo una señal de la muestra denominada termograma el cual muestra, a través de la medición de la temperatura y energía, eventos térmicos incluyendo la fusión, cristalización, transiciones vítreas, y reacciones de descomposición.

El método consiste en colocar cantidades pequeñas de muestra de aproximadamente 5 a 10 mg en un crisol de metal junto con otro crisol que contiene un material de referencia, en un horno el cual puede calentar o enfriar a una velocidad controlada, por lo general de 5 a 10 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) por minuto (m). Cuando es sometida la muestra a un evento térmico como la fusión o la cristalización, la temperatura y energía asociadas son evaluadas debido a que están directamente relacionadas con la estructura del estado sólido (polimorfismo y transiciones vítreas)(35).

La técnica de DSC se utiliza para detectar cambios endotérmicos o exotérmicos que ocurren durante una medida dinámica en función de la temperatura. Las transiciones de primer orden producen picos y las de segundo orden, saltos en el flujo de calor. La integración de los picos, corregida teniendo en cuenta la velocidad de calentamiento y la cantidad de muestra analizada, proporciona el calor latente de la transición y la temperatura a la que esta ocurre puede determinarse como se muestra en la Figura 1-3. La Figura 1-4 muestra la forma de obtener la temperatura de transición vítrea y el cambio en la capacidad calorífica, el equipo tiene en cuenta la velocidad de calentamiento y la cantidad de muestra analizada y utiliza un crisol vacío como referencia para ajustar la pendiente de la recta que se obtiene en el termograma, calculando de esta forma la capacidad calorífica de la muestra. Normalmente, la temperatura a la que

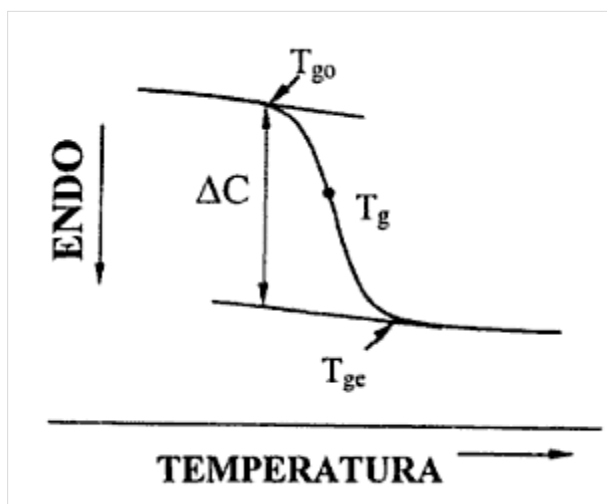
empieza la transición o la temperatura en el punto medio son las que se utilizan para cuantificar la Temperatura de gelatinización (T_g). Con estas dos temperaturas podemos tener una idea de la amplitud de la transición, lo que indicará la cinética de la misma (41,51).

Figura 1-3. Esquema de un termograma obtenido por DSC (52).



En la Figura 1-3 se observa un endotermo correspondiente a una transición de primer orden como la fusión (T_o = temperatura de inicio de la transición, T_e = temperatura final de la transición, T_p = temperatura en el pico).

Figura 1-4. Esquema de un termograma obtenido por DSC (52).



En la Figura 1-4 se observa una transición de segundo orden como la transición vítrea. T_{go} = temperatura de inicio de la transición vítrea; T_g = temperatura del punto medio; T_{ge} = temperatura final de la transición.

Los termogramas normalmente se obtienen calentando, aunque si lo que interesa es determinar la temperatura a la que se inicia una transición que ocurre al enfriar una muestra, como la congelación, habrá que operar al revés. La velocidad a la que se realiza el barrido de temperaturas es importante, puesto que las transiciones de fase suponen cambios en la movilidad y ordenación molecular y por lo tanto, los barridos programados han de permitir que se produzcan los cambios deseados (51).

Con esta técnica se pretende detectar cambios endotérmicos o exotérmicos que ocurren durante la medida dinámica de las muestras de almidón nativos y acetilados en función de la temperatura, con el fin de obtener la Temperatura de inicio (T_o), la Temperatura de pico (T_p), la Temperatura final (T_f), la Entalpia de Gelatinización (ΔH) y la temperatura de onset (T_{onset}).

1.2. Sustitución química de almidones por acetilación

Las modificaciones de polímeros con aplicación farmacéutica son consideradas de gran importancia y han sido motivo de investigación durante mucho tiempo, cuyo principal objetivo es mejorar las propiedades y atributos de estos materiales los cuales serían utilizados en las diferentes formas farmacéuticas con funciones específicas de liberación y entrega del principio activo. Existen muchos métodos para realizar las modificaciones en los polímeros entre los cuales se describen modificaciones químicas, físicas y microbiológicas (30).

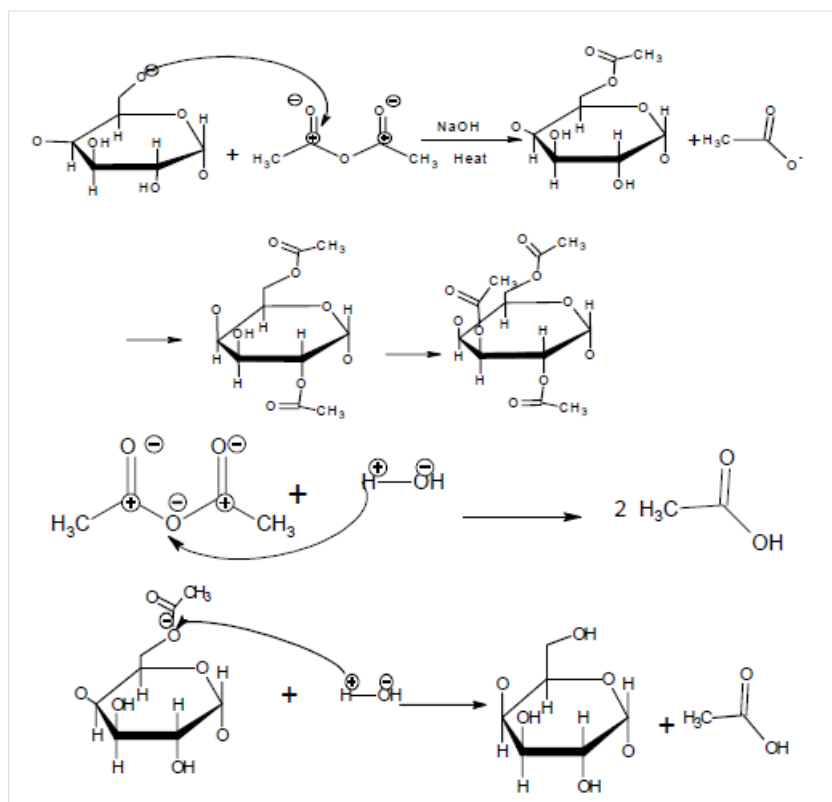
El propósito de esta investigación se fundamentó en la modificación química de los almidones de Maíz y Arracacha. Hay que resaltar que la modificación química está fundamentada en la reacción de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Existen diferentes métodos de modificación entre los cuales podremos mencionar la modificación por Reducción (oxidación, Reducción hidrofílica, Reducción enzimática, Dextrina), modificación por sustitución (Éteres, Ésteres) y modificación por entrecruzamiento (Di-éter, Di-éster) (53). De acuerdo a lo anteriormente descrito, se seleccionó la acetilación la cual corresponde a una modificación por sustitución (esterificación), teniendo en cuenta el desarrollo de trabajos previos realizados al interior del Grupo de Investigación en Tecnología Farmacéutica, Cosmética y Alimentos del profesor Germán Matiz, codirector del presente trabajo.

La acetilación es una modificación química por esterificación, en la cual se sustituyen sus grupos hidroxilos por grupos acetilos que le brindan mayor estabilidad, variando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones. Los almidones acetilados presentan 6-10°C menos en la temperatura de gelatinización (T_g) y el pico de viscosidad máxima es mayor con respecto al nativo, lo cual indica que los almidones acetilados se dispersan más fácilmente.

La acetilación también incrementa la claridad y estabilidad de los geles, además reduce la retrogradación (37,18).

En la reacción tal como se presenta en la Figura 1-5, es un ejemplo de una sustitución nucleofílica en un carbono insaturado del anhídrido acético. Los tres grupos hidroxilo tienen diferente reactividad. El primer -OH en el carbono 6 es más reactivo y la acetilación es llevada a cabo más fácilmente que en los carbonos 2 y 3. De los grupos -OH secundarios, el grupo -OH en el C2 es más reactivo que el del C3.

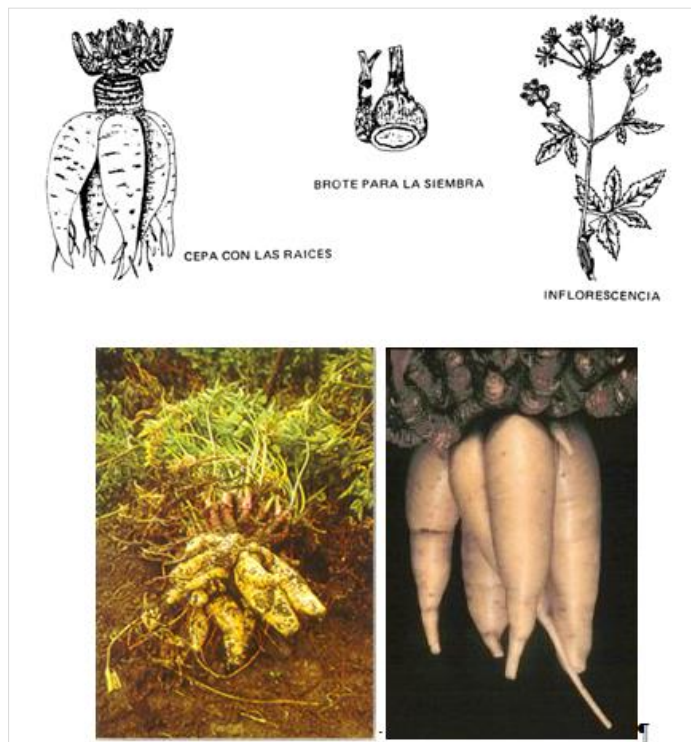
Figura 1-5. Reacción de acetilación del Almidón. (54)



La acetilación de los almidones depende de ciertos factores, como la fuente de obtención del almidón, concentración del reactivo, tiempo de reacción y pH. Varios investigadores mencionan que la reacción de acetilación es reversible, mostrando una desacetilación en el almidón (55).

1.3. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) variedad amarilla.

Figura 1-6. Planta y tubérculo de la Arracacha (56).



Dentro de las variedades existentes de arracacha, amarilla, morada y blanca, hay que resaltar que para el propósito de esta investigación se utilizó la variedad amarilla. Por lo tanto al utilizar el nombre de la muestra arracacha se refiere a la variedad amarilla.

1.3.1. Origen de la Arracacha

La Arracacha es una raíz andina que fue cultivada por indígenas en tiempos remotos, es probablemente una de las plantas más antiguas cultivada por el hombre andino, puesto que incluso su domesticación fue anterior a la de la Papa y el Maíz (19).

La Arracacha es originaria de la región andina, siendo principalmente cultivada por países como Colombia, Ecuador y Perú. Su cultivo se realiza desde la época prehispánica, sugiriéndose que hayan sido los Incas quienes la utilizaron por primera vez esta planta (57). En Colombia donde parece haber sido cultivada en la época de las culturas de desarrollo regional 500 AC-500 DC, es muy abundante, siendo en la actualidad el primer productor mundial de esta planta (19,18).

1.3.2. Distribución geográfica de la Arracacha

Actualmente la Arracacha es cultivada a lo largo de la cordillera de Los Andes, desde Venezuela hasta el norte de Chile y noroeste de Argentina. Se puede cultivar desde 2000 a 3200 metros sobre el nivel del mar (msnm), pero se desarrolla mejor entre 1.800 a 2.500 msnm. Los investigadores del Centro Internacional de la Papa (CIP), calculan que unas 30.000 hectáreas se dedican al cultivo de la Arracacha en América del Sur y América Central. Colombia es el primer productor mundial de Arracacha, con una producción anual de más de 101.452 toneladas, las estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural dicen que el promedio de 11.57 toneladas por hectáreas, el cultivo se encuentra en casi todos los departamentos andinos como Santander, Boyacá y Huila, concentrándose especialmente en el municipio de Cajamarca, departamento del Tolima con cerca del 63 % de la producción total nacional (58,59).

1.3.3. Sinonimia y nombres vulgares de la Arracacha

Como Arracacha y Racacha se le conoce en Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia y Centro América. Mandioquinha salsa, y Batata baroa se le conoce en Brasil, Apio criollo en Venezuela (22).

Otros nombres comunes para este tubérculo son:

- Quechua: laquchu, rakkacha, huiasampilla.
- Aymara: lakachu, lecachu.
- Español: arrecate (América Latina), zanahoria blanca (Ecuador), arracacha, racacha, virraca (Perú)
- arracacha, racacha, apio criollo (Venezuela)
- Inglés: arracacha, racacha, whitecarrot, peruviancarrot, peruvianparsnip.
- Francés: arracacha, paneme, pomme de terre céleri.

1.3.4. Clasificación Taxonómica de la Arracacha

La Arracacha fue descrita en 1825, con la siguiente clasificación taxonómica.

Tabla 1-1. Clasificación taxonómica de la Arracacha (58).

Reino:	Plantae
División:	Spermatophyta.
Subdivisión:	Magnoliophyta (Angiospermae)
Clase:	Magnoliatae (Dicotiledónea).
Subclase:	Rosidae.
Orden:	Umbellales (Ariales).
Familia:	Umbelliferae (Apiaceae).
Género:	Arracacia.
Especie:	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft

1.3.5. Composición química

La Arracacha se cultiva principalmente por su raíz reservante que es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, ya que posee un almidón muy fino, alto contenido de calcio y vitamina A, así como niveles adecuados de niacina, ácido ascórbico y fósforo. Su principal inconveniente es su corta vida de almacenamiento y su vulnerabilidad a sufrir daños durante el transporte. Dado su valor nutricional el consumo de arracacha es recomendado en la dieta alimenticia de niños, ancianos y convalecientes. Aunque la arracacha es más conocida por sus raíces, ninguna parte de esta planta queda sin aprovecharse. Los tallos y las hojas se usan como alimento para animales y las hojas que tienen un alto contenido de antioxidantes, también se usan en muchas aplicaciones medicinales tradicionales (58, 59,60).

En la siguiente tabla se muestra la composición química de la Arracacha según la variedad.

Tabla 1-2. Composición química de la Arracacha (58).

Muestra	Materia Seca g/100 Materia	%Materia Seca				
		Almidón	Fibra	Grasa	Proteína	Cenizas
Prima						
Arracacha Amarilla						
Raíces frescas	28,6	86	1,8	0,9	2,5	3,7
Residuos del lavado	15	47	7,4	1,6	2,4	24
Trozos secos	94,2	84	2	0,8	3,3	3,7
Harina	96	72	2,3	1,7	3,3	3,2
Ripio	94,5	65	2,5	-	3,3	5,5
Arracacha Blanca						
Raíces frescas	20,2	85	1,6	1,4	2,4	4,9
Residuos del lavado	16,1	39	6,8	1,6	2,1	32,7
Trozos secos	92,7	80	1,5	1,7	2,9	4,6
Harina	96	64	1,9	1	3,1	4,7
Ripio	93,7	63	2,5	-	3,3	5,2
Arracacha Morada						
Raíces frescas	20,8	85	1,5	1,3	1,3	4,7
Residuos del lavado	15,5	40	8,7	1,5	2,9	25,8
Trozos secos	94,2	84	2,1	1,6	1,9	4,6
Harina	96,2	67	2,1	2	1,8	4,2
Ripio	94,8	63	3,3	-	2,1	5,5

1.4. Herramientas de análisis de datos

1.4.1. Coeficiente de Correlación de Pearson

La definición de relación en estadística concuerda con lo que se entiende por relación en el lenguaje habitual: dos variables están relacionadas si varían conjuntamente. Si los sujetos tienen valores, altos o bajos, simultáneamente en dos variables, tenemos una relación positiva.

Por lo tanto la correlación se define por la co-variación (co = con, juntamente: variar a la vez). Sin embargo la correlación y covarianza son términos conceptualmente equivalentes, expresan lo mismo. La covarianza es también una medida de relación, lo mismo que el coeficiente de correlación. Para este tipo de estudio es habitualmente utilizado el coeficiente de correlación (r de Pearson) (61,62).

Un coeficiente de correlación, mide el grado de relación o asociación existente generalmente entre dos variables aleatorias como es definido anteriormente. El coeficiente de correlación de Pearson tiene como objetivo medir la fuerza o grado de asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas que poseen una distribución normal bivariada conjunta. El coeficiente se define por la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{COV(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad -1 \leq \rho \leq 1$$

Cuando ρ es positiva (+) la relación es directa entre las variables. Si ρ es negativa (-) la relación es inversa y si ρ es igual a cero (0), son independientes(61).

1.5. Estado del arte.

En la actualidad hay varias publicaciones de investigaciones basadas en modificaciones de almidones donde se caracterizan las propiedades funcionales, fisicoquímicas y tecnológicas con propósitos de mejorar sus atributos y/o propiedades. Los principales hallazgos se fundamentan en la comparación de las propiedades de los almidones nativos con sus respectivas modificaciones, para establecer las relaciones que beneficiarían aplicaciones farmacéuticas, alimentarias, cosméticas y tecnológicas a nivel industrial. Aunque existen varias publicaciones al respecto, el almidón de arracacha no ha sido ampliamente estudiado en sus propiedades y por lo tanto no hay mucha literatura al respecto; por consiguiente se hablará de algunos pocos estudios específicos realizados y se abordará de manera general algunos estudios en los que se ha evaluado las propiedades de interés para este trabajo y se tomará de referencia la manera de analizar este tipo de información.

Dentro del grupo de investigación TECPRONA se han realizado estudios relacionados con la modificación de almidones nativos y su posible aplicación a nivel farmacéutico. Existe una tesis de investigación del almidón de arracacha realizada por Carrascal, 2013 “Acetilación del almidón de Arracacha xanthorrhiza y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico” donde se realizó una caracterización del almidón de maíz y arracacha con sus respectivas modificaciones (acetilación) en tres niveles. El tipo de caracterización que se realizó en este trabajo se fundamentó en la comparación de las propiedades funcionales y fármaco técnicas de estos almidones modificados, con el propósito de utilizarlos como excipientes farmacéuticos y poder establecer el beneficio que tendrían las preparaciones farmacéuticas en las cuales se propone utilizar. En comparación, teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, en el presente trabajo se realizó la modificación química del almidón de arracacha por acetilación en

cinco niveles, utilizando el almidón de maíz como grupo control. Con los niveles de acetilación obtenidos se realiza una caracterización de propiedades fisicoquímicas y térmicas para establecer las posibles correlaciones existentes entre las propiedades estudiadas; adicionalmente se determina cuantitativamente el grado de correlación entre estas propiedades calculando el coeficiente de correlación entre las mismas. A través de las correlaciones se podría entender cómo controlar o seleccionar propiedades de los almidones para su aplicación a nivel industrial (63).

Desde un punto de vista farmacéutico, Rodríguez D. y colaboradores, llevaron a cabo la caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón nativo de la Arracacha; para lo cual, determinaron entre las primeras: el tamaño y distribución de partícula por el método microscópico, encontrando una distribución logarítmica-normal comprendida entre 5-35 μm de forma poliédrica irregular, la temperatura de gelatinización por DSC la cual presentó un valor comprendido entre 49-55 $^{\circ}\text{C}$, el contenido de amilosa por colorimetría encontrando un valor cercano al 18% y el comportamiento del material a la humedad relativa que mostró que este es un material altamente higroscópico; en cuanto a las propiedades farmacotécnicas estudiadas (densidad aparente y compactada, fluidez por el método estático y comportamiento bajo compresión por el método sugerido por Kaplan y Wolf), determinaron que el almidón nativo de la Arracacha tiene una baja voluminosidad, flujo pobre y buen desempeño bajo compresión, lo que podría establecer el uso del almidón de este tubérculo, como posible aglutinante, desintegrante o diluyente (64). Otros investigadores, Sandoval y colaboradores, realizaron la caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha, a través del estudio de la distribución del tamaño de partícula, la temperatura de gelatinización por el método de calorimetría diferencial de barrido, el contenido de amilosa por método colorimétrico, evaluación del material de acuerdo al contenido de humedad relativa del ambiente, la densidad aparente y verdadera, la fluidez, el comportamiento bajo compresión, la desintegración, la porosidad, la superficie

específica y las densidades aparente y compactada. De acuerdo a los resultados presentados se concluyó que el 50 % de las partículas presentan un tamaño de partícula inferior a 10.6 μm y un 90 % menores a 18.4 μm , además presenta una superficie específica es de 2651.28 cm^2/g , la morfología de la partículas observadas por microscopio de barrido electrónico, muestra gránulos irregulares, con superficie estriada y de forma globular y poliédrica, la temperatura de gelatinización se inicia a los 49 °C y finaliza hacia los 65 °C, el evento endotérmico se observa hacia los 55 °C, la temperatura de gelatinización para el almidón de arracacha es menor que el presentado por otros almidones, reflejando una menor estabilidad y energía de red en su estructura cristalina. De acuerdo a los resultados presentados de densidad, voluminosidad, porosidad y fluidez, se podría atribuir al almidón de arracacha buenas propiedades como agente aglutinante, agente desintegrante y posible diluyente (36).

Por otro lado, teniendo como enfoque la industria de plásticos, Pardo O. y colaboradores, elaboraron películas biodegradables con almidones oxidados (0.019 % de grupos carbonilos, 0.025% de grupos carboxílicos), acetilados (grado de sustitución de 0.259) y nativos de Arracacha, utilizando diferentes volúmenes de glicerol como agente plastificante (0.6; 0.8; 1.0 mL); todo, con el objetivo de estudiar el efecto que tienen las modificaciones químicas y la variación de la cantidad de plastificante en las propiedades mecánicas de las mismas; determinando que estas variables de estudio si influyen directamente en las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, porcentaje de elongación, módulo de elasticidad y módulo de resiliencia), de las películas preparadas (65).

Es muy importante señalar que la caracterización de almidones modificados es esencial para determinar y cuantificar sus nuevas propiedades fisicoquímicas, lo cual puede hacerse analizando: su solubilidad, capacidad de hinchamiento, en el caso de almidones acetilados el incremento en el hinchamiento en comparación

con los almidones nativos se puede explicar por la introducción de grupos hidrofílicos, lo cual permite la retención de moléculas de agua por la facilidad de formar, puentes de hidrógeno (65), capacidad de retención de agua (CRA) alcalina (66), la cual se debe a la diferencia en la relación amilosa /amilopectina, así como también a la diferencia en la distribución en la longitud de la cadena como ha sido reportado en otros almidones (25); la absorción de agua y aceite, el porcentaje de acetilación, estabilidad al congelamiento-deshielo o % de sinéresis, claridad de los geles de almidón, viscosidad aparente y retrogradación entre otras. De manera general la medición de estas propiedades puede realizarse a través de técnicas como Differential Scanning Calorimetric DSC, Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier FTIR Spectroscopy, Thermo gravimetric Analysis TGA, difracción de rayos X, Scanning Electron Microscopy SEM (40).

Sin embargo muchas de las propiedades fisicoquímicas del almidón están relacionadas entre sí y existen estudios estadísticos que nos ayudan a identificar ese grado de relación, como lo es coeficiente de correlación de Pearson. Garnica *et al.*, (2010), estudiaron las características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa y para ello se extrajo el almidón nativo de los clones de papa, a los cuales se les caracterizó por sus propiedades funcionales de: claridad–opacidad, temperatura de gelatinización, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y viscosidad. De acuerdo a los resultados en los clones evaluados, la transmitancia fue mayor del 40%, la temperatura de gelatinización osciló entre 61 a 65 °C, el índice de absorción de agua estuvo entre 6.5 y 15.04 g gel/g muestra, el índice de solubilidad en agua presentó valores de 0.74 a 5.29 g soluble/ g muestra, el Poder de Hinchamiento va de 6.58 hasta 15.45% y la viscosidad presentó variación entre los datos, en cuanto al estudio de Correlación de Pearson las variables: poder de hinchamiento y el índice de absorción de agua, fueron la que presentaron alta correlación con un valor de $r = 0.998$ (68). Lo anterior es corroborado por Hevia y colaboradores, quienes afirman que el poder de hinchamiento indica cuánta agua puede absorber el almidón (69). De estos

resultados se concluyó que Los almidones obtenidos a partir de papa mostraron diversas propiedades funcionales que los hacen factibles para su utilización en diversos sistemas alimenticios u otras aplicaciones industriales. Las diferencias en absorción de agua, solubilidad de agua y poder de hinchamiento se explica principalmente por diferencias en la constitución genética de los clones de papa evaluados, aunque el poder de hinchamiento y el índice de absorción de agua presentaron una correlación muy elevada debido a que el poder de hinchamiento indica cuánta agua puede absorber el almidón. (69)

Por otra parte, la caracterización de los almidones de dos especie de papa dulce de Nigeria y China presentaron variaciones a las que podría atribuirse a diversos factores, tales como condiciones ambientales, las diferencias genotípicas , etc., los almidones diferían en amilosa , cenizas, contenido de fósforo, formas granulares , tamaños y partículas distribución de tamaño , de forma significativa ($P < 0,05$) más bajo digestibilidad de enzima se observó en la patata dulce de Nigeria en comparación con el Chino. Los almidones de camote Tanto Nigeria y China mostraron menor solubilidad a una menor temperatura, mientras que a mayor temperatura (80 ° C), mostraron valores de solubilidad superiores en comparación a almidones de yuca y papa. Los estudios de gelatinización mostraron mayores temperaturas de gelatinización de 73,17 y 71,64 °C en almidones de NSP1 y NSP2, respectivamente. En cuanto a la correlación de Pearson, el análisis mostró que el tamaño medio de gránulo y contenido de fósforo ($r = 0,998$) de los almidones tenían un sustancial efecto sobre las propiedades de plastificantes de los almidones (70).

En cuanto a almidones modificados, Yu y colaboradores en 2007, estudiaron las propiedades fisicoquímicas y estructurales del almidón modificado de arroz al ser sometido a una irradiación de rayos -gamma dando como resultado que la Micrología, observación de la microestructura de almidón, en la capa exterior e

interior endospermo del arroz, mostrará pérdidas de fragmento de los gránulos del almidón por irradiación gamma y que además esta ruptura se incrementó con el aumento de la dosis del rayo. Además el contenido aparente de amilosa, consistencia de gel y la temperatura de gelatinización se vieron afectados por la irradiación pre - tratamiento. El contenido aparente de amilosa se redujo, y la consistencia de gel y la temperatura de gelatinización se incrementaron con el aumento de dosis del rayo gamma. Estos cambios generalmente están relacionados con los cambios de la estructura del almidón. Con el análisis de RVA (Análisis rápido de Viscosidad), se observaron seis importantes parámetros propiedades plastificantes del almidón, la viscosidad de pico (PKV), viscosidad plastificante en caliente (VPH), la viscosidad plastificante fresco (CPV) , retroceso (CPV menos PKV) , ruptura (PKV menos VPH) , y el pico tiempo (PKT) , entre ellas se determinó que fue significativa la disminución con el aumento de la dosis en diferente velocidad de corte. Entre sus propiedades hubo alto coeficiente de correlación entre los parámetros principales individuales de propiedades plastificante del almidón (En un rango 0,961-0,998) y las dosis. Estos cambios de propiedades plastificantes se dieron debido a la rotura de los gránulos de almidón causada por la irradiación gamma. (71)

2. Capítulo 2. Metodología.

2.1 Materiales, equipos y métodos.

2.1.1 Materiales y reactivos

- 500g de almidón nativo de Arracacha amarilla, proporcionados por el grupo de investigación de Tecnología de Productos Naturales del Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia (TECPRONA).
- Almidón de Maíz comercial (Almidón Farmal USP 034580), N° de código: 03751007CE null y N° Lote: 0000731278.
- Agua tipo I.
- Anhídrido acético 99%.J. T Baker.
- Hidróxido de sodio. Merck.
- Etanol al 75%.
- Solución de NaOH 0,5N.
- Solución de HCL 0,5N.
- Solución de KOH 0,5N.
- Fenolftaleína. J. T Baker.

2.1.2 Equipos

- Estufa Mettler Toledo. Modelo Lindberg Blue M.
- Balanza analítica Mettler Toledo. Modelo XP 205.
- Centrifuga Thermo Scientific. Modelo IEC CL30.

- Plancha de agitación TAL BOYS.
- Plancha con agitación IKA® C-MaG HS7 con termómetro IKA® ETS-D5.
- Espectrofotómetro IR Perkin Elmer. Modelo Sprettrum BX.
- Potenciómetro Mettler Toledo Seven easy.
- Viscosímetro rotacional de Brookfield DV-I PRIME.
- Calorímetro diferencial de barrido Mettler Toledo. Modelo 822E.
- Nevera SANYO. Modelo S20.
- Termómetro de Mercurio de 20 a 100 °C Precision Scientific.
- Equipo de producción de agua ultrafiltrada. Millipore.

2.2 Métodos

2.2.1 Extracción del almidón nativo de Arracacha

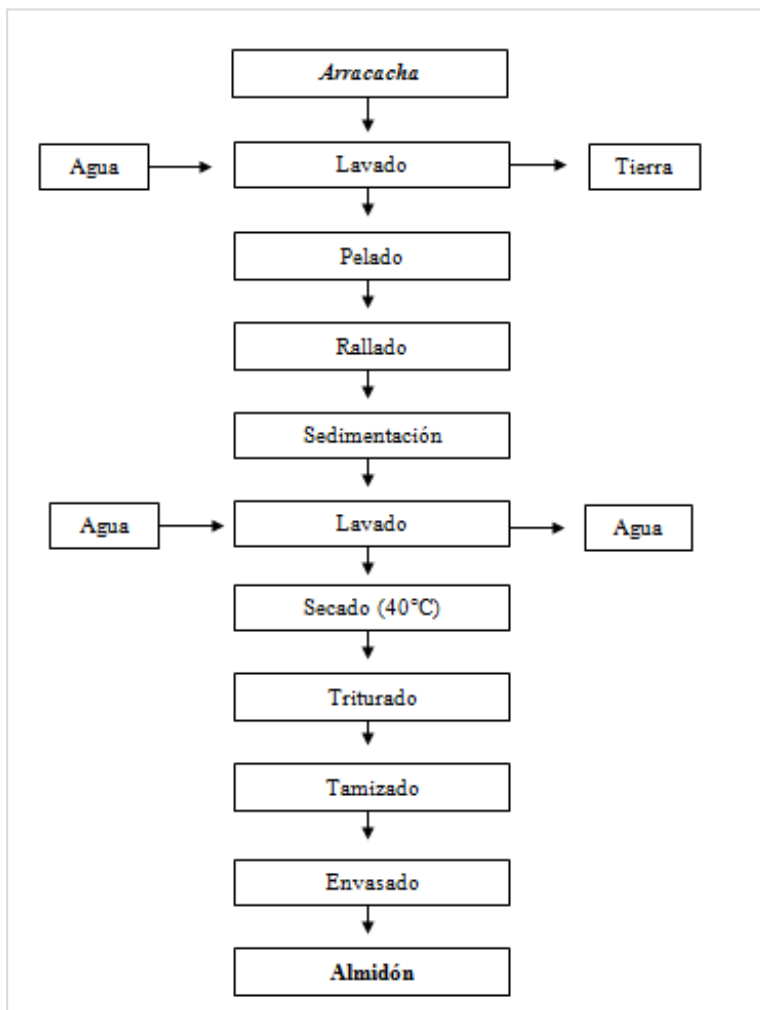
Para la obtención del almidón nativo de Arracacha se empleó la metodología propuesta por Caypo C. (42), con algunas modificaciones. Se adquirió el material vegetal de raíces de Arracacha por negociación directa en la central de abastos de la ciudad de Bogotá. Se escogió aquel material sin defectos físicos, magulladuras, entero y fresco.

Se comenzó la extracción con un lavado seguido de un troceado y licuado por 3 minutos del material, esta lechada se pasó por lienzo y a su vez fue lavado. Posteriormente se dejó decantar y al sedimento se le realizaron varios lavados con agua destilada y al final se suspendió en etanol absoluto. Se filtró al vacío y se secó en bandejas de acero inoxidable a una temperatura de 45°C por 12 h.

Terminada la etapa de secado el almidón obtenido se pasó a través de malla número 40 U.S. STD. Sieve (425 µm), se pesó y se envasó hasta su posterior utilización (41). El material extraído fue suministrado por el grupo de investigación TECPRONA.

De manera más clara en la Figura 2-7 se observa el proceso de obtención de almidón de Arracacha.

Figura 2-7. Proceso de obtención de almidón de Arracacha.



2.2.2 Acetilación del almidón nativo de Arracacha y Maíz

Se inició pesando aproximadamente 10 g de almidón nativo que se adicionaron en 100 mL de agua destilada, hasta obtener una suspensión bajo condiciones constantes de agitación y temperatura baja ($15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), empleando para ello una plancha de agitación y un baño de agente refrigerante. Se ajustó el pH de la

suspensión con unas gotas de solución de NaOH 0,5 N hasta alcanzar un valor inicial de 8-8,5. Se adicionó gota a gota el volumen requerido de anhídrido acético en cada caso (se utilizaron volúmenes de 2,5, 4, 6, 10 y 15 mL para obtener respectivamente cinco grados de sustitución en el rango de 0,03% y 1,5%), manteniendo el pH entre 8 y 8,5 con la solución de NaOH 0,5 N. Después de esto se dejó reaccionando el sistema por 10 minutos. Acto seguido, se detuvo la reacción adicionando solución de HCl 0,5 N y se realizaron 2 lavados de los almidones con agua purificada, centrifugando a 5000 revoluciones por minuto (rpm) durante 3 minutos (m). Por último, se secaron en una estufa a una temperatura de 40°C por 24 h, se trituraron con ayuda de un mortero y se almacenaron para su posterior utilización (28,45,53).

Figura 2-8. Acetilación de almidones nativos.



2.2.3 Determinación del porcentaje de acetilos (%A) en almidones modificados

La medida del contenido de acetilos se basó en la titulación de estos residuos después de someter la muestra a tratamiento alcalino. Se pesó aproximadamente 1 g de almidón acetilado (base seca) en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se añadieron 50 mL de etanol al 75 %, tapando ligeramente el Erlenmeyer, y se

sometió a calentamiento moderado (45-50 °C) en una plancha con agitación por 30 m. Se dejó enfriar y se adicionaron 40 mL de solución de KOH 0,5 N con agitación constante. Seguidamente, se tapó y se dejó por 72 h con agitación eventual. Transcurrido este tiempo, las muestras saponificadas se titularon con solución de HCl 0,5 N usando fenolftaleína como indicador y se dejaron reposar por 2 horas (h), para volver a titular el álcali adicional que pudo haber lixiviado de la muestra. Se repitió el procedimiento con los almidones nativos de cada especie, para utilizarlo como referencia, este procedimiento se realizó preparando tres replicas (17,52).

El porcentaje de grupos $\text{CH}_3\text{-C=O}$ (acetilos) se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Acetilo} = \frac{(\text{mL blanco}) - (\text{mL de muestra}) \times \text{N del HCl} \times 0,043 \times 100}{\text{g de muestra (base seca)}}$$

Dónde: 0.043 = miliequivalentes del grupo $\text{CH}_3\text{-C=O}$

Figura 2-9. Titulación de almidones acetilados.



2.2.4 Determinación del grado de sustitución (GS) en almidones modificados.

El grado de sustitución (GS) en el almidón acetilado equivale al número promedio de grupos OH que se reemplazaron por grupos acetilo ($\text{CH}_3\text{-C=O}$) en la UAG (unidad de anhidro glucosa); este se calculó en las muestras estudiadas según la siguiente fórmula:

$$\text{GS} = \frac{162 \times \% \text{ Acetil}}{4300 - (42 \times \% \text{ Acetil})}$$

Dónde:

162 = Peso molecular de la UAG

4300 = 100 x peso molecular del grupo $\text{CH}_3\text{-C=O}$

42 (Peso molecular del grupo $\text{CH}_3\text{-C=O}$) – 1. (7)

2.2.5 Determinación de grupos sustituidos por Espectroscopia IR en almidones modificados

Se analizaron los espectros de infrarrojo de los almidones nativos y acetilados, que se obtuvieron utilizando para ello espectrofotómetro IR de reflectancia difusa Perkin Elmer modelo Spectrum BX, trabajando en un intervalo de longitud onda de 400 a 4000 cm^{-1} . Para obtener los espectros infrarrojos se utilizaron muestras de los almidones secos, estas muestras se colocaron directamente sobre la superficie del cristal de lectura del equipo.

Figura 2-10. Equipo IR de reflectancia difusa.

2.2.6 Determinación del poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y sólidos solubles en almidones nativos y acetilados

Para la determinación del poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua se utilizó el método utilizado por Araujo y colaboradores, con algunas modificaciones (57).

En primer lugar se pesaron vacíos tubos de ensayos y cajas petri previamente identificados en una balanza analítica y se adecuaron a 60 °C. Se trasvasaron cuantitativamente 6 gramos de almidón modificado con 300mL de agua a un balón de 500mL de tres bocas, dentro del cual se introdujo un agitador magnético. Se adaptó el balón sobre una plancha de calentamiento con agitación, en su boca central se conectó un refrigerante, en otra boca un termómetro, y en la tercera un tapón que pudiera ser removido durante el análisis. Las determinaciones se hicieron en un rango de temperatura de 50-95°C para el almidón de Maíz, y a 30-75°C para la Arracacha. Se tomaron alícuotas sucesivas de 10 mL de las suspensiones con cada aumento de 5 °C en tubos de centrifuga previamente tarados, y pesados después de que las alícuotas alcanzan la temperatura ambiente. Posteriormente se centrifugan a 2200 rpm durante 5 m. El líquido sobrenadante se decanta sobre cajas de Petri, también pesadas con anterioridad,

las cuales se mantienen en una estufa de secado a 60°C hasta peso constante; los tubos de centrifuga con el residuo también fueron pesados (57). Con los datos obtenidos se realizaron los siguientes cálculos:

$$W1 = (\text{Peso almidón en base seca (g)} / \text{Peso almidón en base humedad (g)} + 200) \times 100$$

W2 = almidón en cada alícuota

$$W2 = A \times W1 / 100$$

W3 = almidón residual en el sedimento de cada alícuota

$$W3 = W2 - b$$

$$\% \text{ SS (\% Sólidos solubles (g / g almidón))} = (b / W2) \times 100$$

$$\text{AA (agua absorbida g / g almidón)} = a - W3 / W3$$

$$\text{PH (Poder de Hinchamiento)} = a \times 100 / W2 \times (100 - \% \text{ SS})$$

A = peso de alícuota (g)

a = peso del sedimento en el tubo

b = peso del residuo en la cápsula

En la figura 2-11 se observa el montaje para la determinación del poder de hinchamiento, sólidos solubles y absorción de agua.

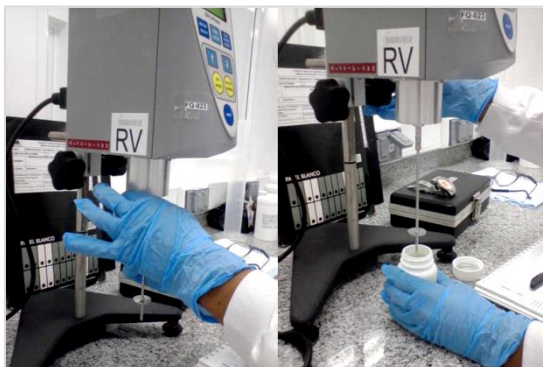
Figura 2-11. Montaje para la determinación del poder de hinchamiento, Sólidos solubles y Absorción de agua



2.2.7 Determinación de la viscosidad aparente en suspensiones de almidones nativos y acetilados

La medida de la viscosidad aparente se realizó siguiendo el método empleado por Bello y colaboradores con algunas modificaciones. Se prepararon pastas de almidón a 5% (p/v) en agua, colocando éstas en un baño con agua hirviendo durante aproximadamente 15 min, se realizó control de la temperatura. Las suspensiones se dejaron reposar a temperatura ambiente. La viscosidad aparente de las pastas frías se midió a 25 °C en un viscosímetro Brookfield, a cuatro velocidades de deformación (6, 12, 30 y 50 min^{-1}) utilizando el spindle No. 5 (18).

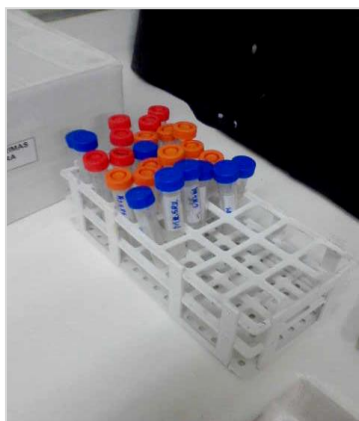
Figura 2-12. Determinación de viscosidad aparente.



2.2.8 Determinación de la Sinéresis

Para la determinación de la sinéresis de las muestras estudiadas, se prepararon suspensiones de almidón gelificado a 90°C por 30 minutos (5% p/p), se enfriaron hasta temperatura ambiente (25°C). Las muestras se almacenaron por 48, 72, 96 y 168 horas a 4° C. La sinéresis se midió como la cantidad de agua (%) liberada después de centrifugar a 4000rpm durante 8 minutos (45, 72).

Figura 2-13. Tubos con suspensiones de almidón

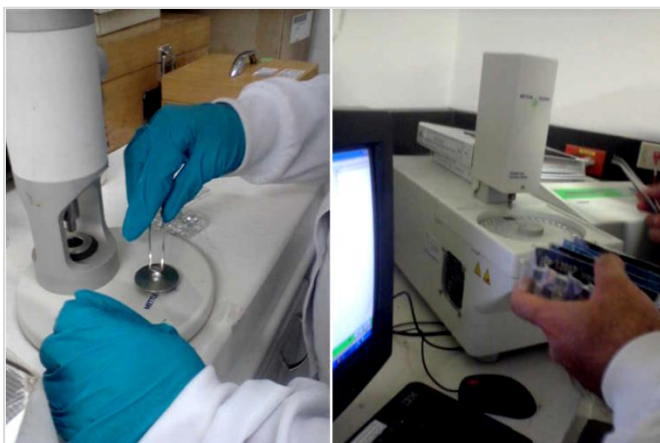


2.2.9 Determinación de propiedades térmicas de los almidones por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

2.2.9.1 Determinación de la gelatinización

Las propiedades térmicas del almidón como temperatura de gelatinización (T_g), Temperatura de inicio de transición (T_i), temperatura final de transición (T_f) y entalpía (ΔH), se determinaron analizando las muestras a través del calorímetro diferencial de barrido (DSC 823e METTLER TOLEDO). Se pesaron aproximadamente 3 mg del material en un recipiente porta muestra (crisol) de aluminio, se adicionaron 10,5 μL de agua desionizada, se dejaron equilibrar por un tiempo de 1 h antes de iniciar el análisis. Las muestras se sometieron a un programa de calentamiento en un intervalo de 10 $^{\circ}\text{C}$ a 120 $^{\circ}\text{C}$ y una velocidad de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ (17,36, 73).

Figura 2-14. Análisis de muestras por DSC.



2.2.9.2 Determinación de la retrogradación

Para la determinación de las propiedades térmicas del almidón después de someterlo al tratamiento de retrogradación (Milles y colaboradores reportaron en 1985 que la retrogradación consiste en dos procesos: gelificación de las moléculas de amilosa liberadas a partir de los gránulos durante la gelatinización y

recristalización de amilopectina), como temperatura de pico de la transición (T_p), Temperatura de inicio de transición (T_i), temperatura final de transición (T_f) y entalpía (ΔH), las muestras empleadas para la temperatura de gelatinización, fueron almacenadas a 5°C durante 12 días. Trascurrido este tiempo, las muestras se retiraron del refrigerador e inmediatamente se colocaron en la celda del DSC para su análisis utilizando un programa de calentamiento en un intervalo de 5°C a 140°C y una velocidad de 10°C min⁻¹ (86).

2.3 Análisis estadístico de los datos recolectados

Los resultados obtenidos correspondientes a tres ensayos independientes fueron expresados como el promedio \pm error estándar de la media (ESM), y se analizaron con análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de test de Dunnet y Tukey *post hoc* para comparaciones múltiples, empleando para ello el software Graph Pad Prism versión 6,04 (Trial). Valores de $P \leq 0,05$ se consideraron significativos.

Para la determinación de los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las propiedades estudiadas, se utilizó el software Minitab Statistical Software, versión 14. (Trial). Valores de $P \leq 0,05$ se consideraron significativos. Este cálculo se realizó tomando como base el grado de sustitución, poder de hinchamiento (30, 50 y 75°C para almidón de arracacha y 50, 70 y 95°C para almidón de maíz), Absorción de agua, Sólidos solubles, sinéresis (48, 72, 96 y 168 horas), Viscosidad, y propiedades térmicas (T_o , T_f , T_g , T_{onset} y ΔH).

3. Capítulo 3. Resultados Y Discusión.

3.1. Extracción de almidón de arracacha

A partir de 12 Kg de material fresco se obtuvieron 2,01Kg de almidón, teniendo un rendimiento de 12.0% que es un rendimiento aceptable (64, 75). El material obtenido fue un polvo de color blanco grisáceo fino de buen aspecto, libre de material extraño, olor y textura parecida al almidón de referencia.

3.2. Obtención de almidones acetilados

En la tabla 3, se muestran los rendimientos obtenidos al realizar la acetilación en diferentes grados de sustitución de los almidones motivo de estudio:

Tabla 3-3. Rendimientos para la obtención de los almidones acetilados.

Cantidad de anhídrido acético (mL)	g /g almidón	Maíz	Arracacha
2.5	0,068	92.68%	99.13%
4	0,108	97,25%	98,52%
6	0,162	95.45%	99.65%
10	0,270	96.75%	97.00%
15	0,405	97,73%	98,73%

De la tabla anterior, se puede apreciar un alto porcentaje de rendimiento para los almidones acetilados (>90% para todas las muestras), lo cual indica, una eficiencia en el método utilizado para la obtención de los mismos.

En la tabla 3-4 se muestra de manera resumida, la codificación que se le asignó a cada muestra de almidón nativo y modificado y será la forma de identificarlo de aquí en adelante.

Tabla 3-4. Muestras de almidones nativos y acetilados.

Abreviatura	Muestra	Vol. de A.A al 99%.(mL)	Cantidad de A.A* g /g almidón
MN	Almidón Nativo de Maíz	N/A	N/A
M 2,5	Almidón de Maíz modificado	2,5	0,068
M 4	Almidón de Maíz modificado	4	0,108
M 6	Almidón de Maíz modificado	6	0,162
M10	Almidón de Maíz modificado	10	0,270
M15	Almidón de Maíz modificado	15	0,405
AN	Almidón de Arracacha Nativo	N/A	N/A
A 2,5	Almidón de Arracacha modificado	2,5	0,068
A 4	Almidón de Arracacha modificado	4	0,108
A 6	Almidón de Arracacha modificado	6	0,162
A10	Almidón de Arracacha modificado	10	0,270
A15	Almidón de Arracacha modificado	15	0,405

*A.A: Anhídrido Acético

3.3. Caracterización por espectroscopia infrarroja

Los espectros de IR obtenidos para este estudio se muestran a continuación, en las Figuras 3-15 a la Figura 3-19 corresponde a los Espectros IR de almidones nativos y acetilados de Maíz y las Figuras 3-20 a las Figuras 3-24 corresponden a los Espectros de IR de almidones nativos y acetilados de Arracacha.

Figura 3-15. Espectro de IR para MN y M2, 5

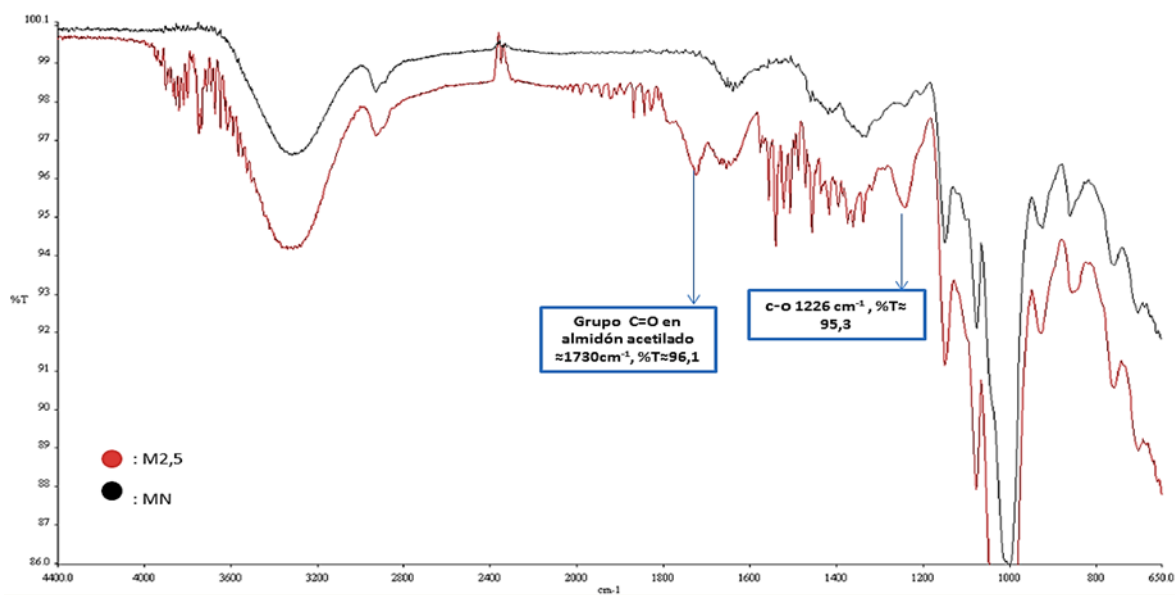


Figura 3-16. Espectro de IR de MN y M4

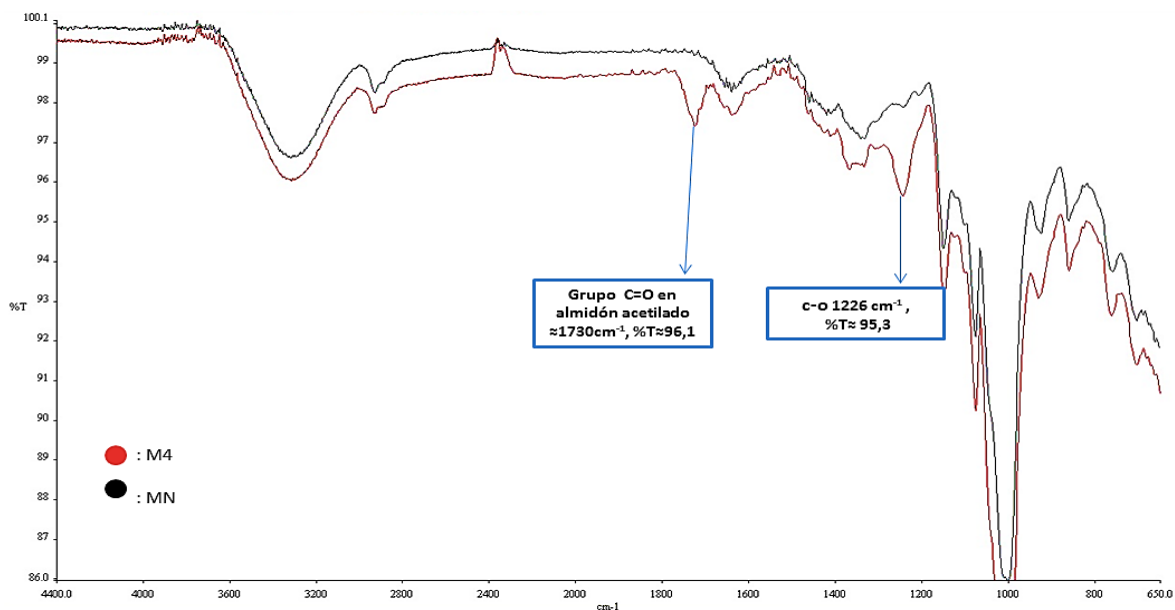


Figura 3-17. Espectro de IR de MN y M6

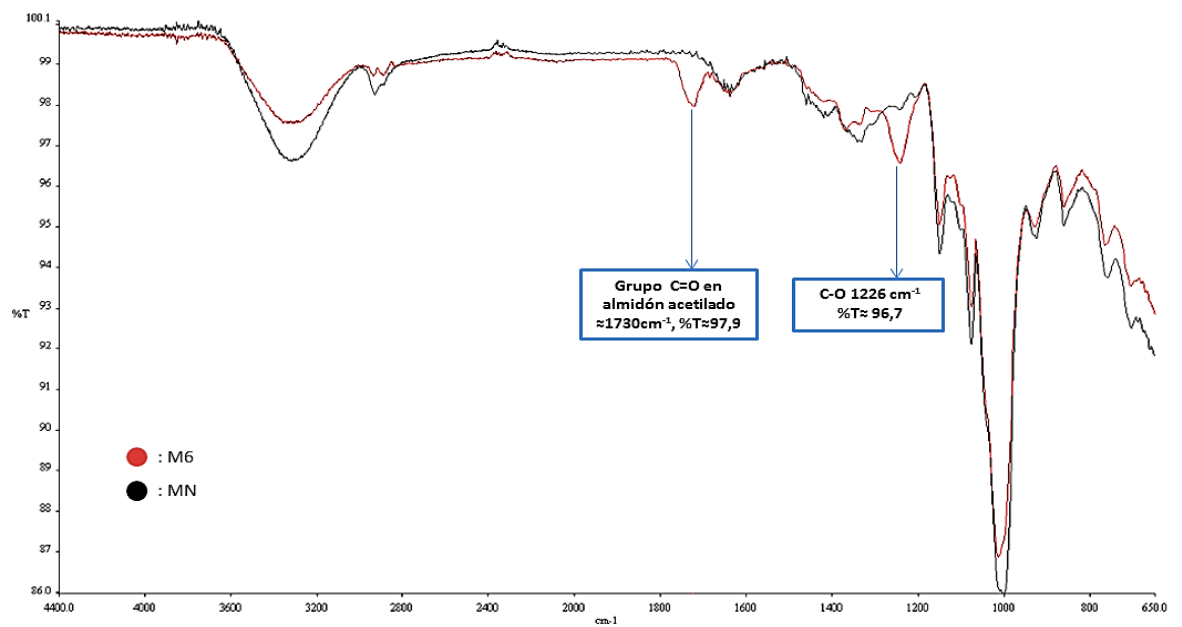


Figura 3-18. Espectro de IR para MN y M10

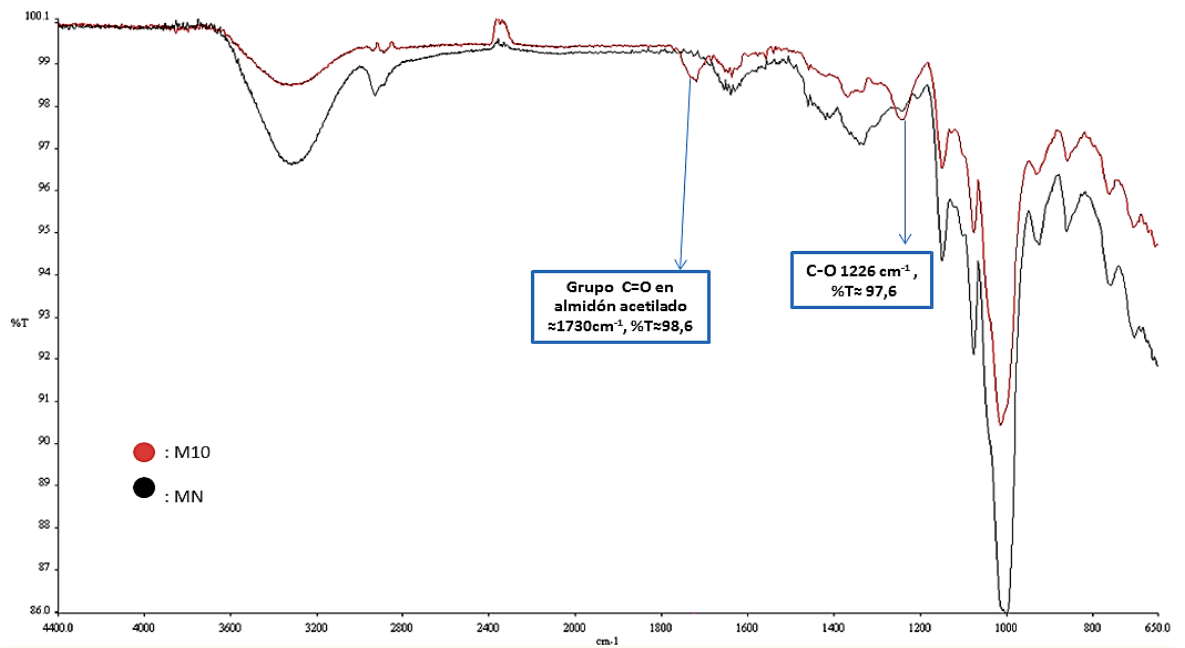


Figura 3-20. Espectro IR de MN y M15

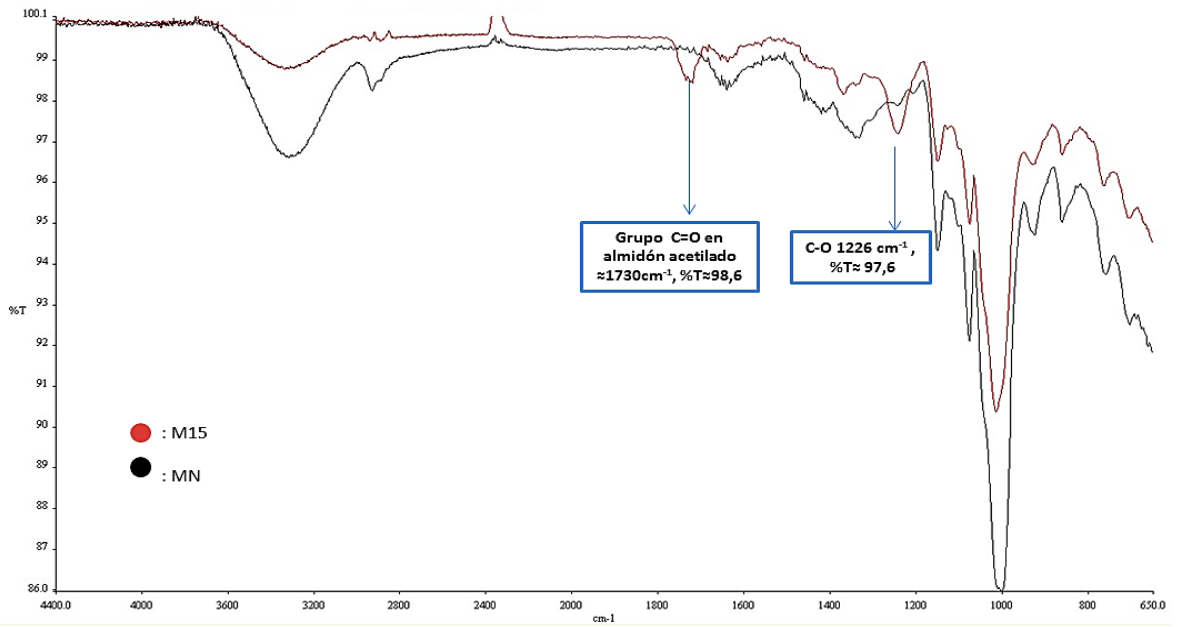


Figura 3-19. Espectro de IR para AN y A 2,5

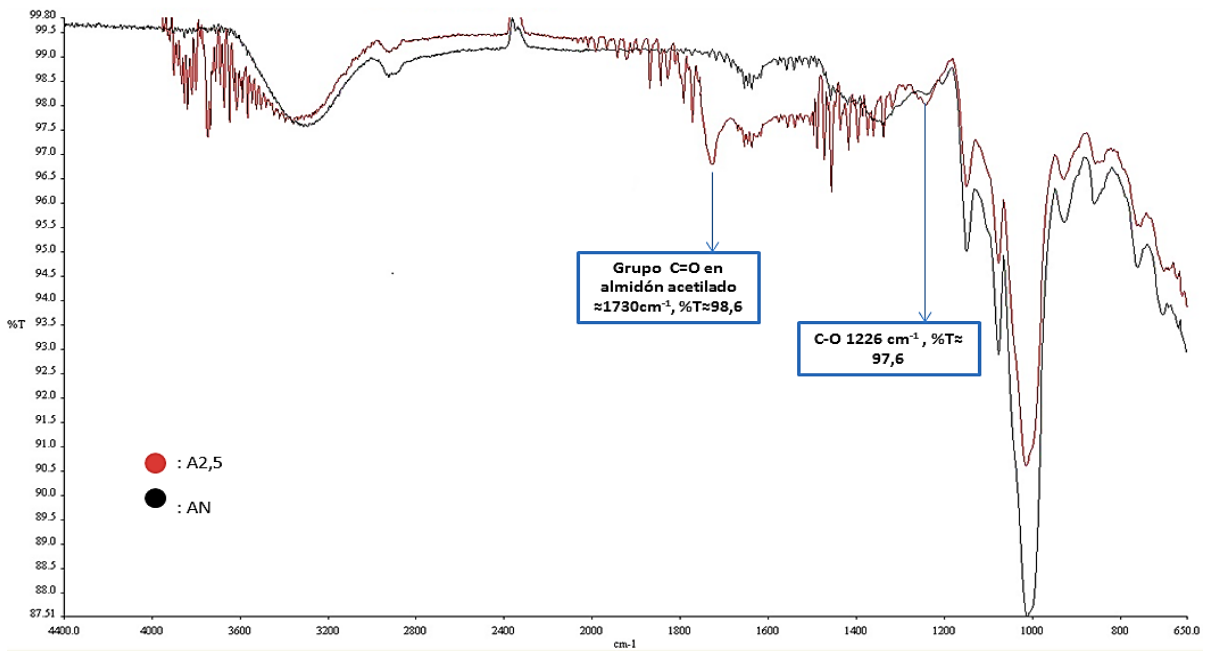


Figura 3-21. Espectro de IR de AN y A4

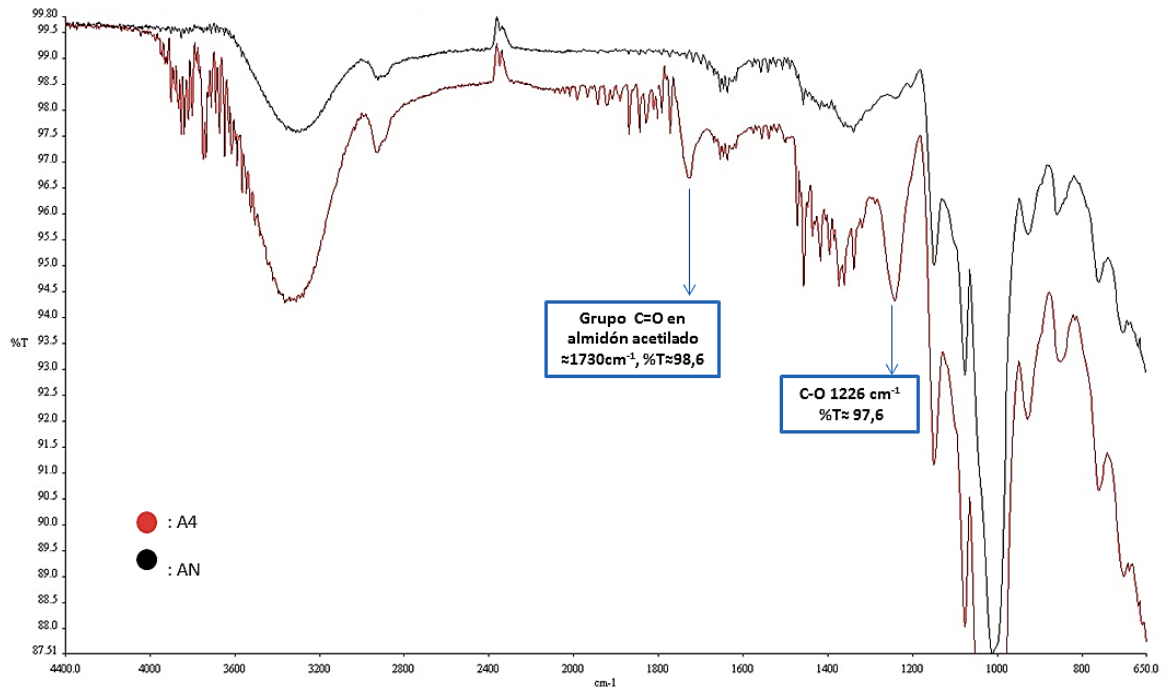


Figura 3-22. Espectro de IR de AN y A6

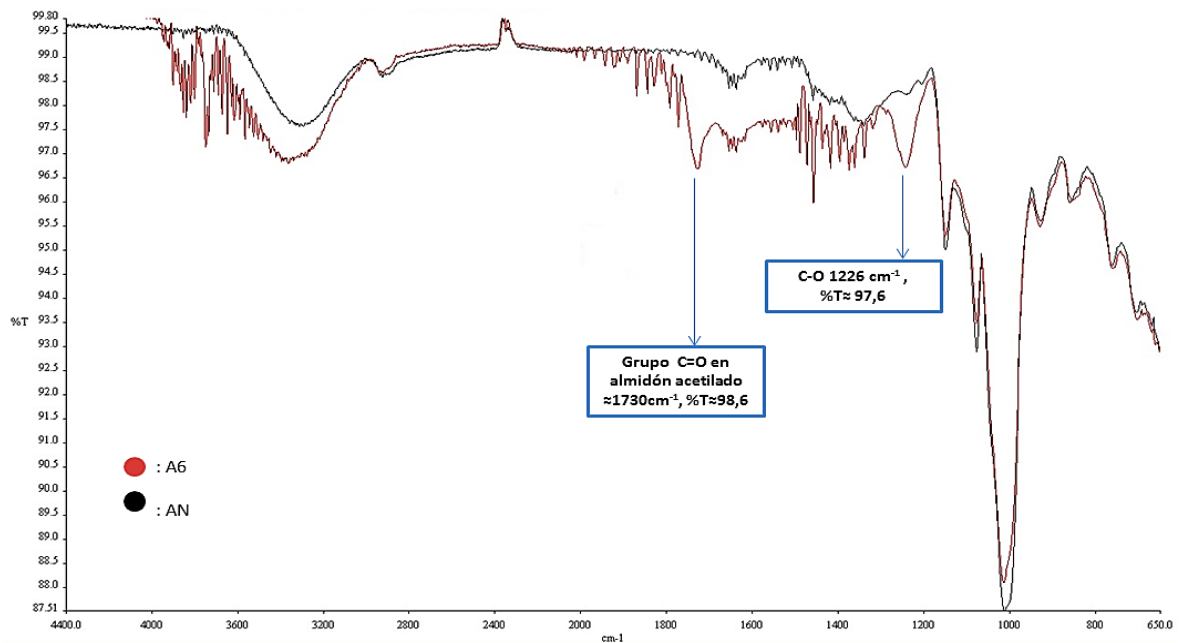


Figura 3-23. Espectro de IR de AN y A10

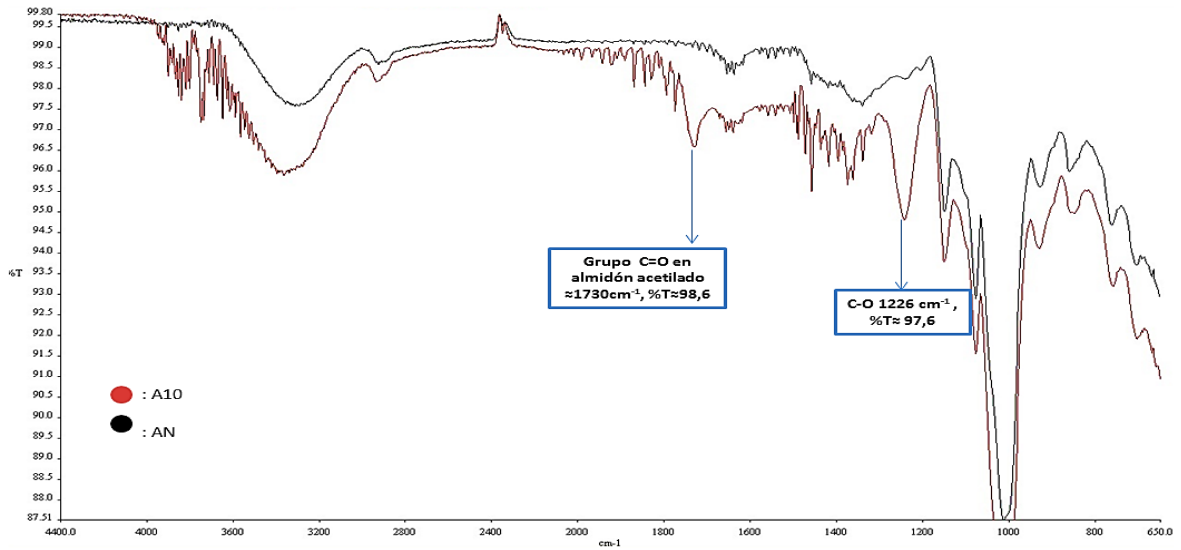
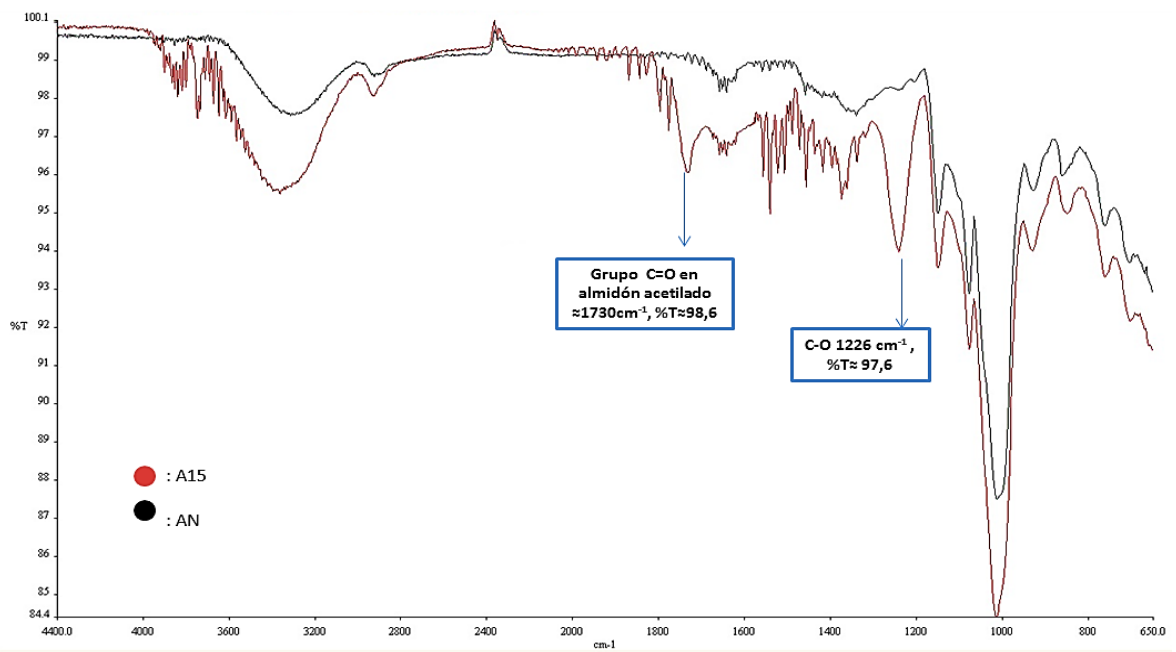


Figura 3-23. Espectro de IR de A15 y AN



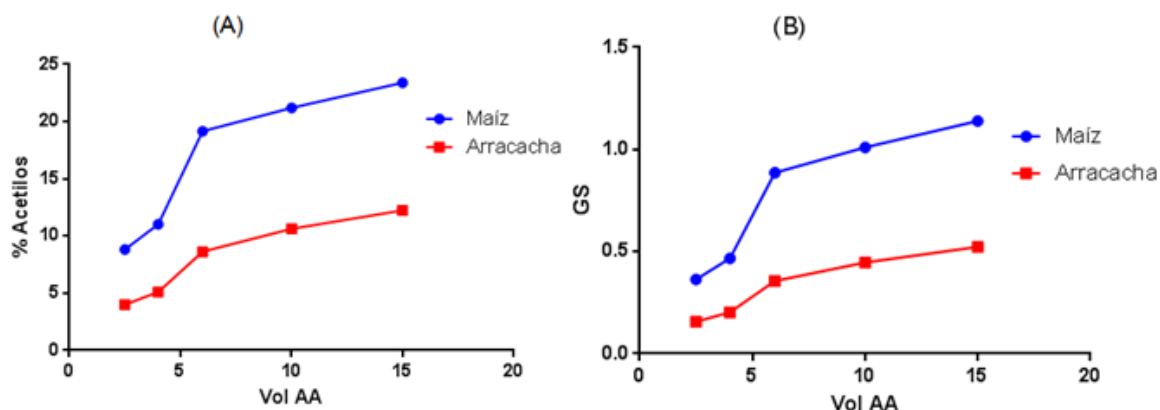
En las Figuras de la 3-15 a la 3-24 se observan los espectros de los almidones estudiados, donde los almidones acetilados mostraron bandas en el intervalo de $900-1280\text{ cm}^{-1}$ que corresponden al estiramiento del enlace C-O, específicamente a $\approx 1226\text{ cm}^{-1}$ el cual es característico del estiramiento de los grupos C-O de los almidones esterificados (17,38). También se aprecia un acortamiento que corresponde a las señales vibracionales por estiramiento a $3000-3900\text{ cm}^{-1}$ y vibraciones por flexión a 1650 cm^{-1} de los grupos OH, debidas a la introducción de grupos acetilo en el almidón cuando se produce la reacción de acetilación (15,17,25,66,67).

Además se puede apreciar que todos los almidones nativos estudiados presentaron las señales características de los grupos funcionales correspondientes (76). Sin embargo, al comparar los espectros de los almidones nativos con sus acetilados, se pudo ver que estos últimos exhibieron una señal a $\approx 1730\text{ cm}^{-1}$ característica de los modos vibracionales en los grupos carbonilo C=O presentes en los almidones acetilados de las especies estudiadas de Maíz y Arracacha, al igual que muchos autores lo reportan (15,17,25,66,67).

3.4. Determinación de grado de sustitución y porcentaje de acetilación.

La modificación química por acetilación se pudo cuantificar determinando el porcentaje de acetilos y el grado de Sustitución (GS), siendo estas medidas un índice de la cantidad de grupos acetilos incertados o incluidos en la molécula. En la Gráfica 3-1 se observa este comportamiento.

Gráfica 3-1. Cuantificación de % de Acetilos (A) y GS (B).



Los resultados correspondientes a la determinación del porcentaje de acetilos y grupos sustituidos de los almidones modificados químicamente por acetilación, se muestran en la Tabla 3-5:

Tabla 3-5. %A y GS en almidones acetilados.

Vol. en mL de AA	Maíz		Arracacha	
	% A	GS	% A	GS
2,5	8,83 ± 0,088	0,36 ± 0,003	4,00 ± 0,058	0,16 ± 0,003
4	11,03 ± 0,133	0,47 ± 0,007	5,10 ± 0,058	0,20 ± 0,003
6	19,17 ± 0,145	0,89 ± 0,009	8,63 ± 0,120	0,37 ± 0,003
10	21,20 ± 0,153	1,01 ± 0,010	10,63 ± 0,186	0,45 ± 0,007
15	23,40 ± 0,133	1,14 ± 0,010	12,23 ± 0,088	0,52 ± 0,003

Los resultados representan la media ± ESM ($n=3$)

En la tabla anterior se presentan los valores de %A y GS en los almidones de Maíz y Arracacha; en esta se observó un aumento de los porcentajes de acetilos a medida que el volumen de anhídrido acético se incrementa; comportamiento que es equivalente al reportado (22,67).

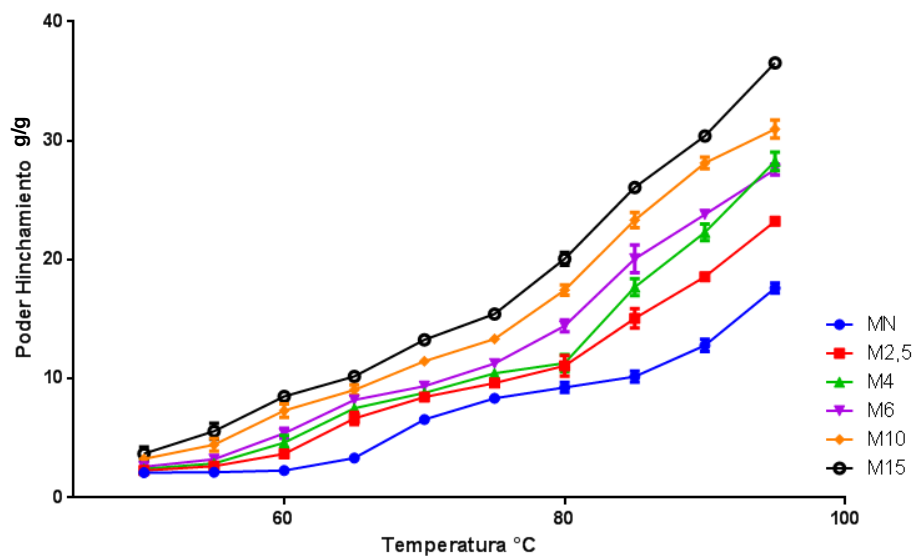
En ella se indica que el % A y GS es mayor en los almidones de Maíz en comparación con los almidones de Arracacha, resultado que puede explicarse mediante la diferencia que pudiera haber entre diversos factores como el contenido de amilosa, resultado soportado Olayide S., y Barrera V., donde el contenido de amilosa para el almidón de maíz es de 22.7% y 20.0% para el almidón de Arracacha respectivamente (22,75,77).

A partir del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los distintos GS y % A (Ver tabla F-1, F-2, G-1 y G-2 correspondiente al tratamiento estadístico de datos en Anexos).

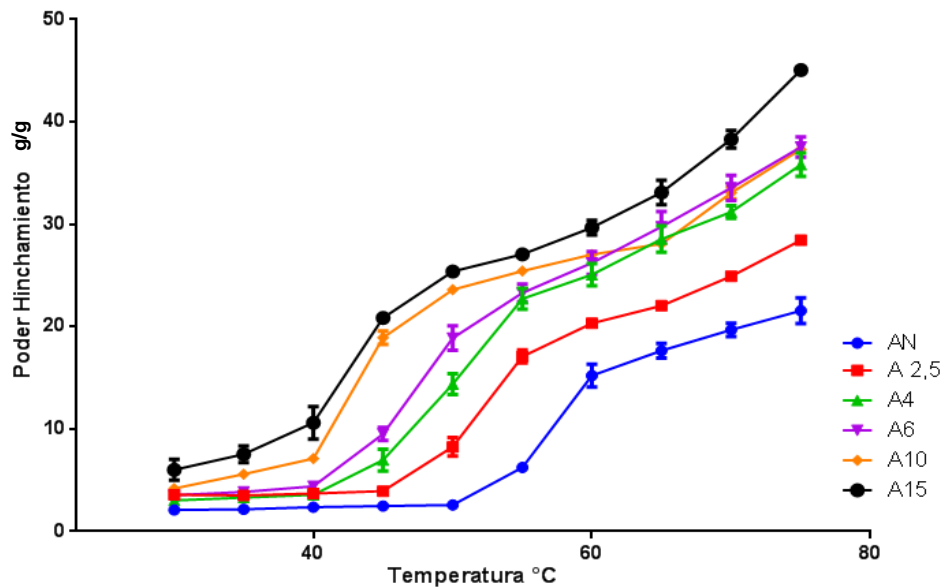
3.5. Determinación de poder de hinchamiento, sólidos solubles y absorción de agua.

Los resultados correspondientes al poder de hinchamiento, para las muestras analizadas de almidones de maíz y arracacha se muestran a continuación en la Gráficas 3-2 y 3-3. Los datos primarios se presentan en el anexo A, tablas A-1 y A-2.

Gráfica 3-2. Poder de hinchamiento de almidones de Maíz



Gráfica 3-3. Poder de hinchamiento de almidones de Arracacha



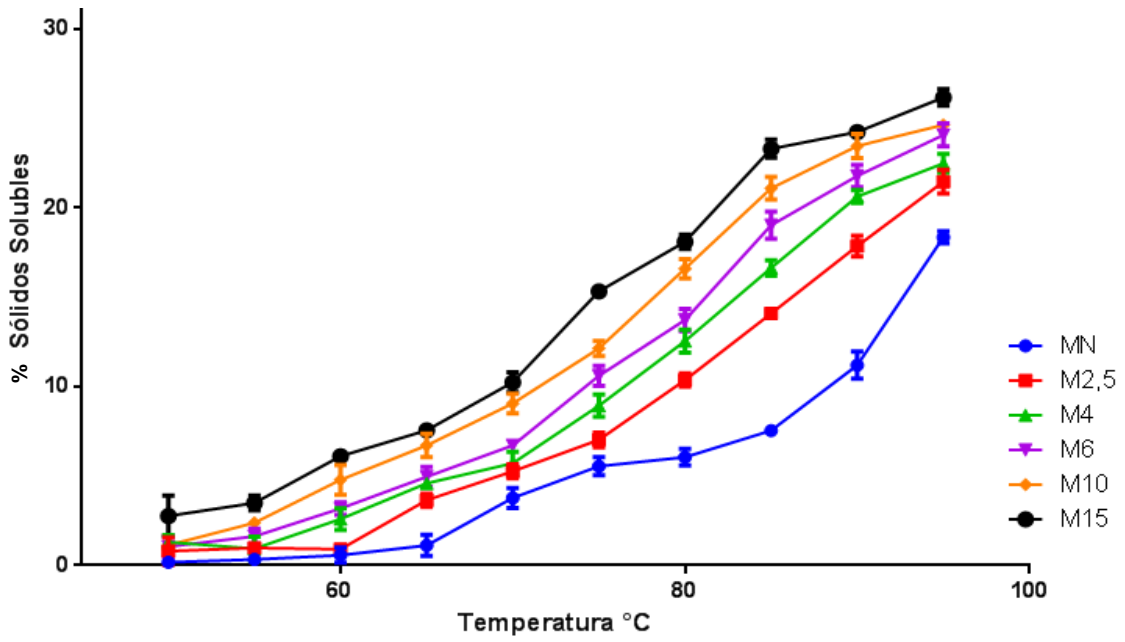
De las Gráficas 3-2 y 3-3 se observó un aumento del poder de hinchamiento, a medida que la temperatura y el GS aumentan en los almidones de maíz y arracacha; presentándose los mayores valores para los almidones de arracacha en comparación al almidón de referencia. Este comportamiento ocurre como consecuencia de la absorción de agua por parte de los gránulos de almidón, que hacen que este se hinche con la pérdida paralela de su organización molecular. Este fenómeno inicia a temperaturas más bajas a medida que el GS aumenta, siendo mayor el hinchamiento alcanzado en los almidones con alto grado de sustitución.

El incremento del poder de hinchamiento en los almidones con alto grado de sustitución podría estar atribuido a la incorporación de los grupos acetilos en la molécula, que permiten la retención de agua en las mismas, por su capacidad para formar enlaces de hidrógeno (18,24).

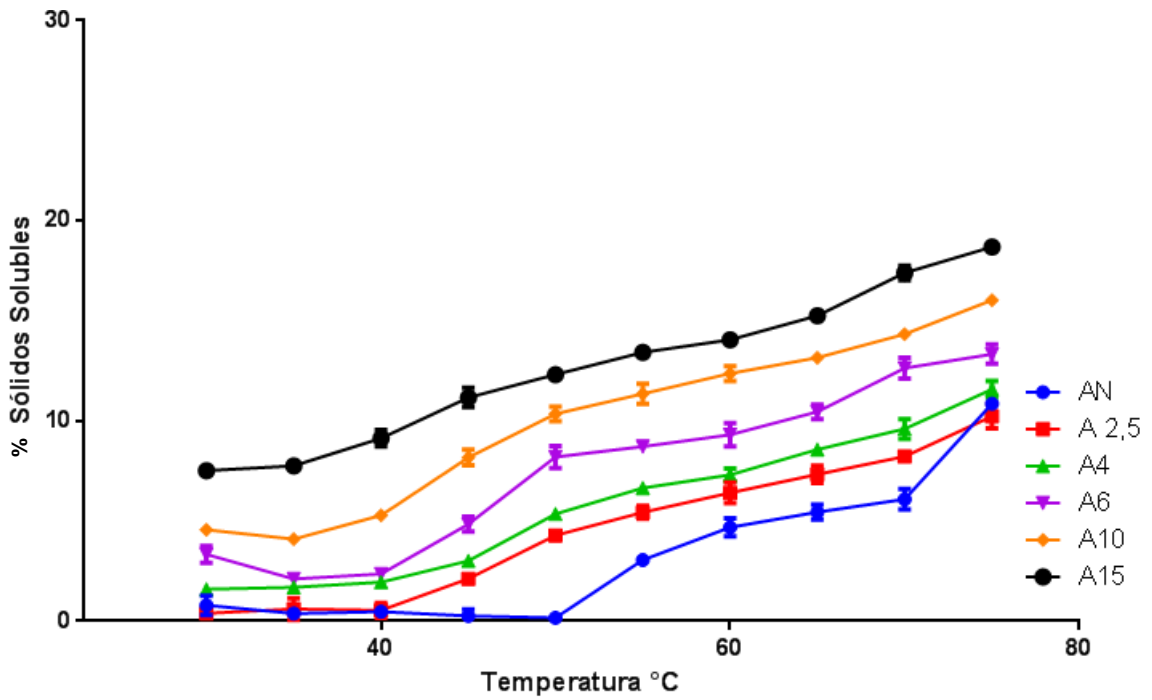
El poder de hinchamiento está relacionado con la unión asociativa dentro del gránulo de almidón, y la fuerza de esta unión esta condicionada con el contenido de amilosa en el mismo, es decir que, a menor contenido de amilosa se obtienen mayores valores de hinchamiento; esta descripción, es comparable con los resultados obtenidos en este estudio, donde se obtuvo que el hinchamiento alcanzado por las muestras de almidones de las especies estudiadas de manera descendente fueron arracacha > maíz, lo que se explica, al tener en cuenta que el contenido de amilosa según la bibliografía consultada son directamente proporcionales al comportamiento descrito (14).

Los resultados correspondientes al análisis de sólidos solubles de los almidones de Maíz se presentan en las gráficas 3-4 y las gráficas 3-5 para almidones de arracacha. Los datos primarios se observan en el anexo B, tablas B-1 y B-2.

Gráfica 3-4. Sólidos solubles de almidones de Maíz

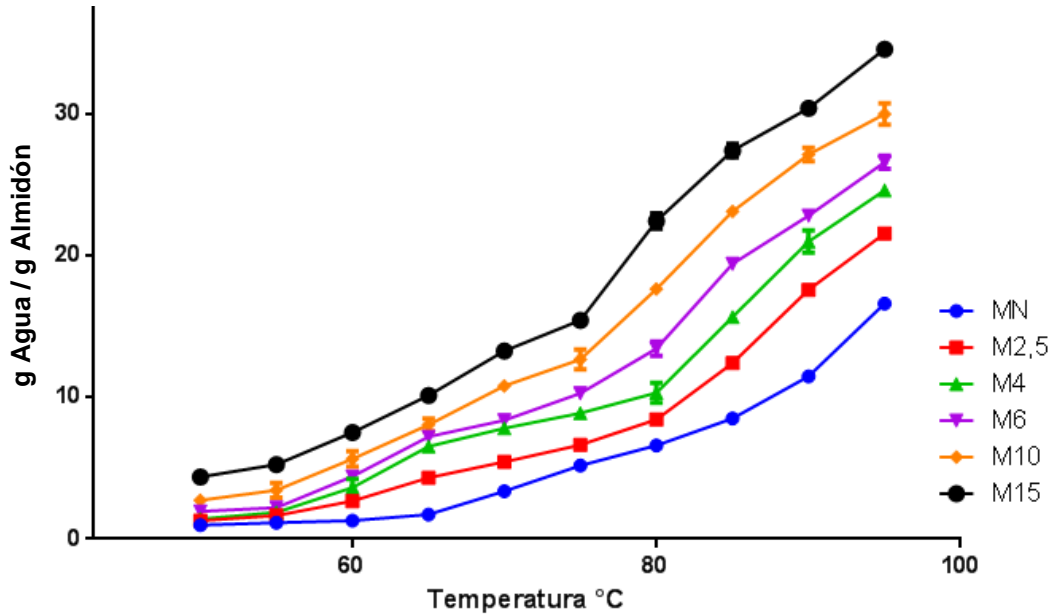


Gráfica 3-5. Sólidos solubles de almidones de Arracacha

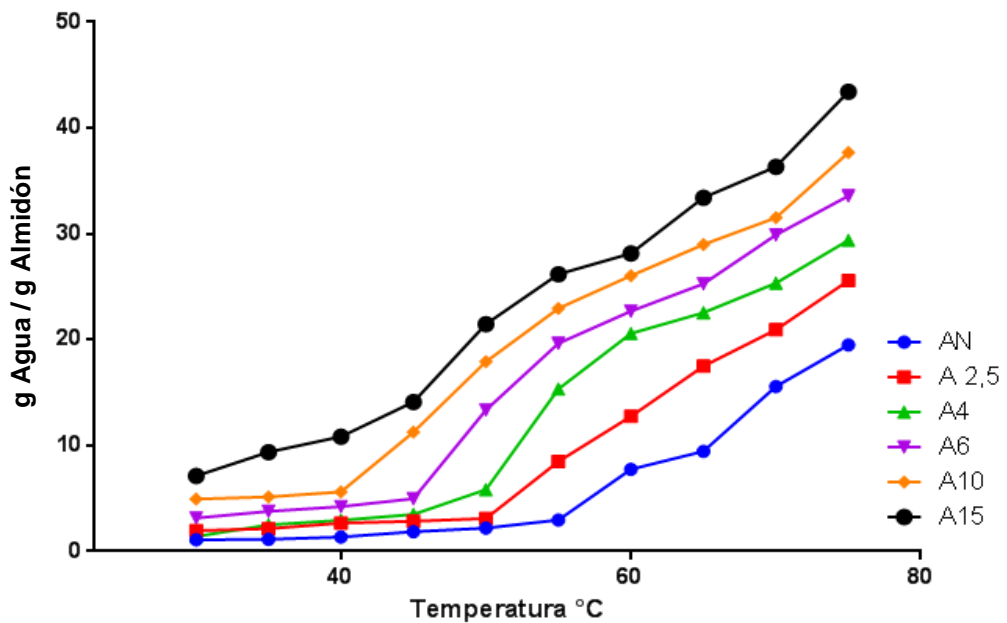


Las gráficas 3-6 y 3-7 indican el Índice de absorción de agua de almidones de maíz y arracacha respectivamente (Ver datos primarios en el anexo C, tablas C-1 y C-2)

Gráfica 3-6. Índice de absorción de agua de almidones de Maíz



Gráfica 3-7. Índice de absorción de agua de almidones de Arracacha



Al igual que el poder de hinchamiento, las gráficas de sólidos solubles e índice de absorción de agua se incrementa a medida que la temperatura y el GS aumentan en los almidones de maíz y arracacha.

Las gráficas que representan los índices de sólidos solubles en las muestras de almidones nativos y acetilados, se muestran en las gráficas 3-4 y 3-5. El aumento de la solubilidad podría deberse a que el incremento de la temperatura conlleva a un aumento de la movilidad de los gránulos de almidón, facilitando la dispersión de las moléculas en el agua, produciendo una mayor proporción de sólidos solubles como lo señala en su investigación sobre almidón de plátano Alemán S., 2012. (78).

Las gráficas correspondientes al índice de absorción de agua de los almidones estudiados, se muestran en las gráficas 3-6 y 3-7. Este comportamiento se explica con lo reportado por Das A. y colaboradores en 2010 (79), en donde se afirma que la presencia de los grupos hidroxilos que participan en la formación de puentes de hidrogeno y enlaces covalentes entre las cadenas en los almidones nativos, disminuye la capacidad de fijar el agua en su estructura, al someterlo a altas temperaturas; por consiguiente, la introducción de grupos acetilo en la molécula de almidón podría haber facilitado el acceso de agua a las áreas amorfas, debido a una desorganización estructural intragranular causada por efectos estéricos y la interrupción de formación de los puentes de hidrogeno en los gránulos, lo que hace que el agua se retenga dentro de estos. El comportamiento reflejado en este estudio, es similar al obtenido por muchos autores, que han acetilado almidones de diferentes fuentes, empleando la misma metodología de esta investigación (58,79).

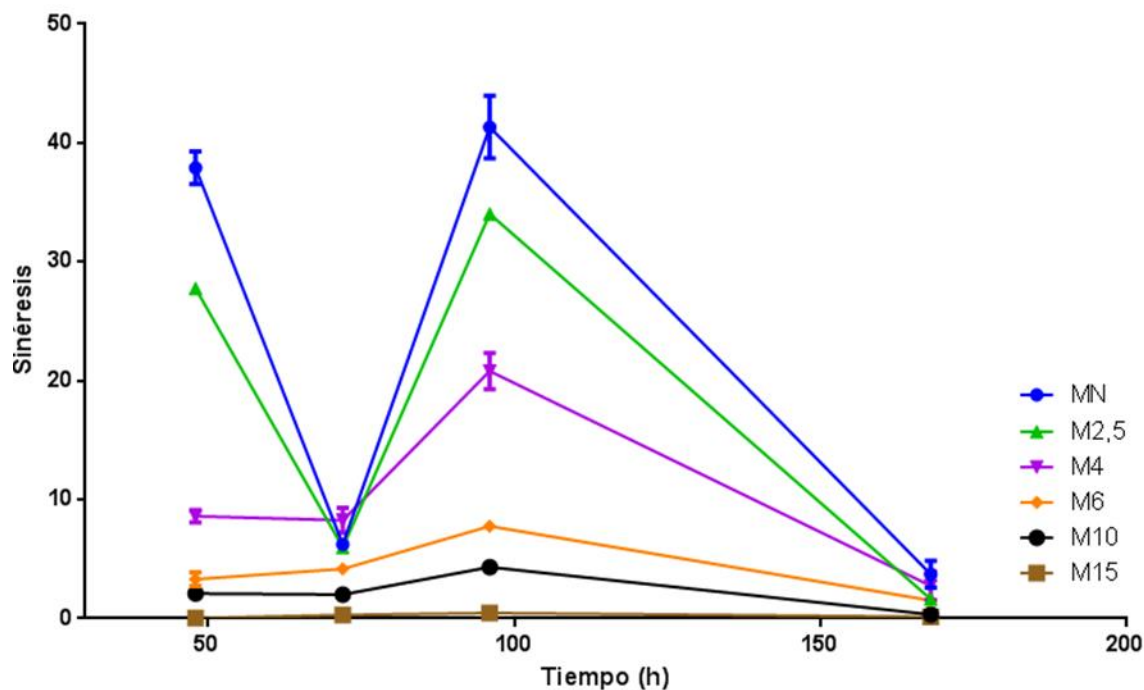
Al realizar el análisis de varianza de un solo factor y los test de comparaciones múltiples, para el poder de hinchamiento, sólidos solubles y absorción de agua se identificaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los almidones nativos y acetilados, en cada tipo de almidón. De manera general, se puede decir que la acetilación mejoró el índice de absorción de agua, los sólidos solubles y el poder

de hinchamiento alcanzado por los almidones estudiados. (Ver Tablas F5-F10 del Anexo F, G5-G10 del Anexo G y H1-H6 del Anexo H, correspondiente al tratamiento estadístico de datos).

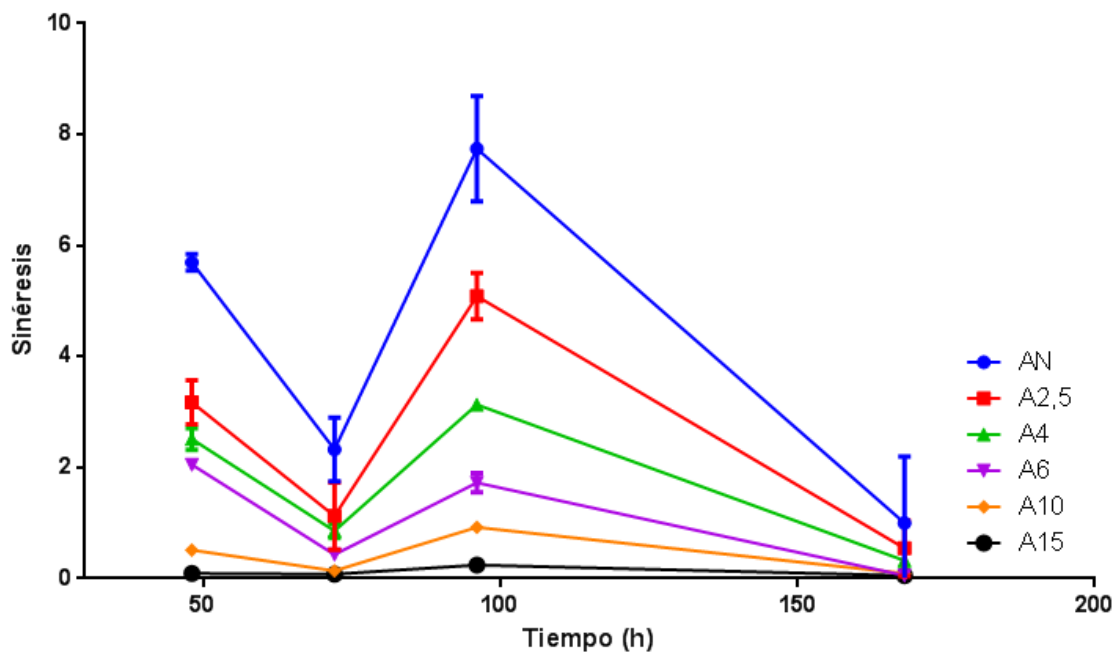
3.6. Determinación de sinéresis

La determinación de la pérdida de agua en las pastas de los almidones estudiados en condiciones de enfriamiento a diferentes tiempos, se utilizó para graficarlos frente a su respectivo tiempo de almacenamiento, como lo muestran las gráficas 3-8 y 3-9 (ver datos primarios en Tabla D-1 y D-2 Anexo D). De esta forma se establece el comportamiento de los almidones acetilados en términos de su capacidad de retención de agua.

Gráfica 3-8. % de Sinéresis de almidones de Maíz



Gráfica 3-9. % de Sinéresis de almidones de Arracacha



El comportamiento de la pérdida de agua de las pastas de almidón, que se presenta en las gráficas 3-8 y 3-9 se evidencia una disminución del porcentaje de sinéresis a medida que el GS aumenta, es decir se presenta un incremento general de retención de agua por parte de los almidones sujeto a tratamiento térmico y refrigeración (4°C a diferentes horas) con respecto al aumento del grado de sustitución, esto puede atribuirse a la presencia de los grupos acetilos que pueden causar impedimentos estéricos en el reagrupamiento interno de las moléculas de amilosa y amilopectina, que resulta en un menor porcentaje de sinéresis en los almidones acetilados (74).

Los almidones de arracacha presentaron un menor porcentaje de sinéresis al compararse con el almidón de maíz. El mayor valor de porcentaje de sinéresis en los almidones nativos de maíz (41,34 %) y arracacha (6,75%) se presenta a las 96 horas.

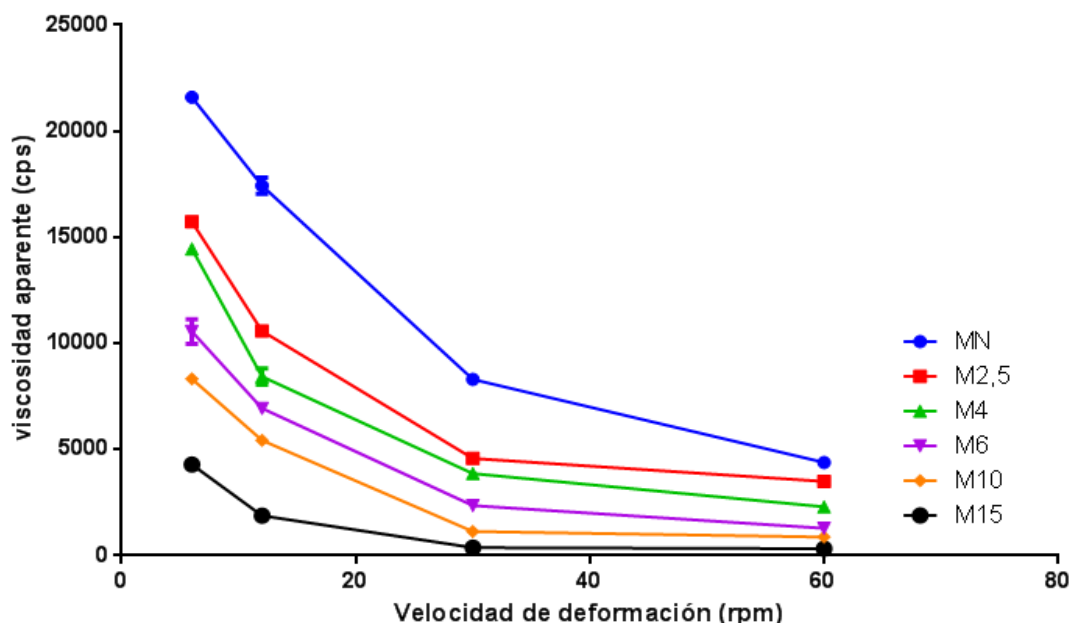
Los almidones modificados de arracacha con respecto a los de maíz, muestran menores porcentajes de sinéresis, lo que hizo que sus geles fueran más estables.

Con el análisis estadístico de los datos obtenidos del porcentaje de sinéresis, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los almidones nativos y acetilados del almidón de maíz y arracacha lo cual indica que con cada grado de sustitución se obtuvo un material, con comportamiento diferente. (Ver tablas F11-F12 del Anexo F, G11- G12 del Anexo G y H7-H8 del Anexo H, correspondiente al tratamiento estadístico de datos).

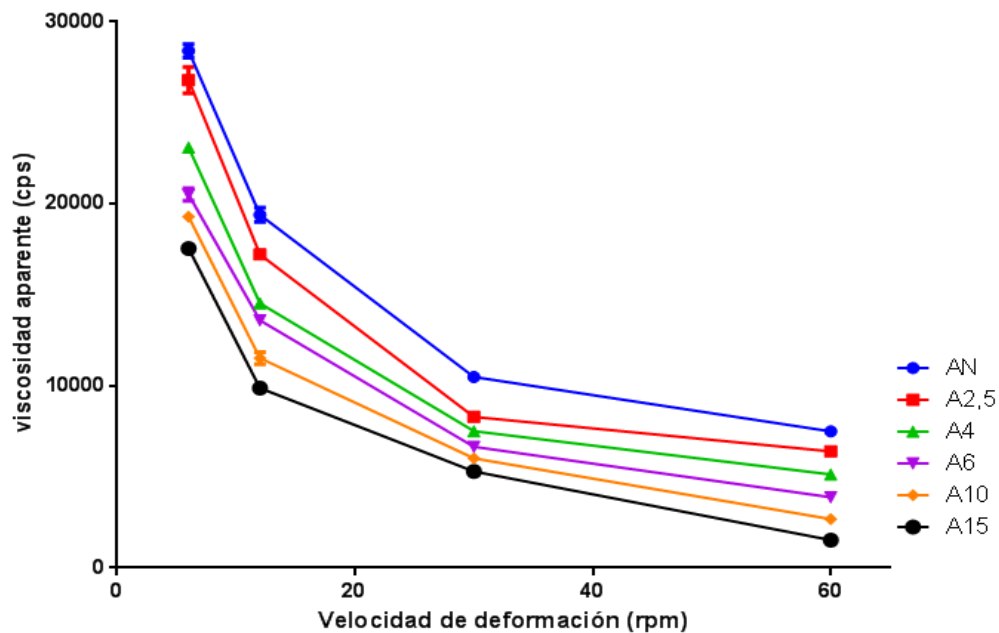
3.7. Determinación de la viscosidad

Las gráficas 3-10 y 3-11 muestran la viscosidad de los almidones de maíz y arracacha respectivamente. En las tablas E1 y E2 del Anexo E, se muestran los datos primarios de las viscosidades aparentes de los almidones estudiados.

Gráfica 3-10. Viscosidad de almidón de Maíz



Gráfica 3-11. Viscosidad de almidones de Arracacha



En las gráficas 3-10 y 3-11 se muestran la disminución de la viscosidad en todas las muestras de almidón de arracacha y maíz a medida que la velocidad de deformación aumentaba, característica de un fluido no newtoniano (pseudoplástico), ya que cuando el almidón se somete a un aumento de velocidad del spin, la fuerza generada por este, hace que se produzca una ruptura de las largas cadenas, que a su vez después de un reposo prolongado recuperan su forma inicial (80).

También se observa que a medida que aumenta el GS disminuye la viscosidad. Esto puede estar atribuido a la presencia de grupos acetilos en los almidones modificados que los hacen ser menos propensos a la reasociación de sus cadenas constituyentes, según lo reporta Rincón A. et al; 2007. (14).

Con el análisis estadístico de los datos obtenidos en viscosidad, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los almidones nativos y acetilados para todas especies en estudio lo cual indica que con cada grado de sustitución se obtuvo un material con comportamiento diferente. (Ver tablas F13-F14 del Anexo F, G13- G14 del Anexo G y H9-H10 del Anexo H, correspondiente al tratamiento estadístico de datos).

3.8. Determinación de propiedades térmicas

3.8.1. Temperatura de gelatinización

En la Tabla 3-6 se presentan los valores obtenidos durante el ensayo de gelatinización para los almidones nativos y modificados en todos los grados de sustitución alcanzados en este estudio:

Tabla 3-6. Temperatura de gelatinización y de retrogradación.

MUESTRA		GELATINIZACIÓN			RETROGRADACIÓN		
		T _o (°C)	T _p (°C)	ΔH (J/g)	T _o (°C)	T _p (°C)	ΔH (J/g)
<i>Almidones de</i>	MN	67,05	71,58	8,65	46,84	56,30	3,08
<i>Maíz</i>	M2,5	61,07	67,10	8,05	-	-	-
	M4	58,94	65,42	7,24	-	-	-
	M6	58,29	64,77	7,33	-	-	-
	M10	55,77	63,12	6,65	-	-	-
	M15	55,24	62,92	7,49	-	-	-
<i>Almidones de</i>	AN	55,75	59,39	13,99	49,23	59,28	0,85
<i>Arracacha</i>	A2,5	51,04	55,58	11,68	-	-	-
	A4	49,08	53,27	9,96	-	-	-
	A6	48,20	52,27	7,94	-	-	-
	A10	47,76	51,28	4,00	-	-	-
	A15	46,07	50,61	2,29	-	-	-

Se muestran las temperaturas de inicio, pico y finalización (T_o, T_p, T_f), así como también las entalpías de gelatinización (ΔH) del análisis por DSC de los almidones estudiados. Se puede ver, que los valores de T_o, T_p y T_f para los almidones de arracacha resultaron menores en comparación a los almidones de referencia. Además, se observa una disminución a medida que aumentó el GS, esto debido a que la modificación, provocó que se requirieran menores temperaturas para gelificar (81).

Estudios sugieren que la disminución en las temperaturas de gelificación, podría atribuirse a los grupos acetilos y al incremento en los enlaces de hidrógeno en las moléculas de almidón, que repercuten en la estabilización de la estructura granular e incrementan la capacidad de hinchamiento. Esta descripción es soportada, con los resultados obtenidos en este estudio, para la determinación de capacidad de hinchamiento (38,54,66). (Ver Figura 3-25 y 3-26 correspondiente a los termogramas obtenidos por DSC para la determinación de la temperatura de gelatinización).

Figura 3-24. Termograma DSC de almidón de Maíz nativo vs acetilados.

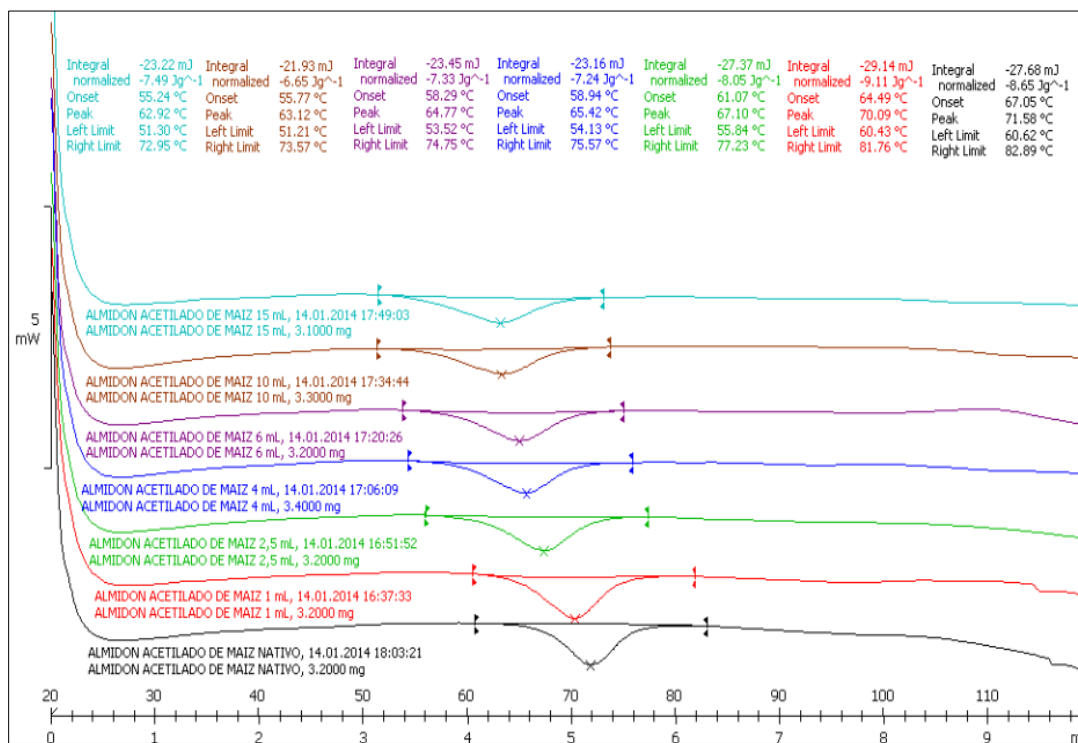
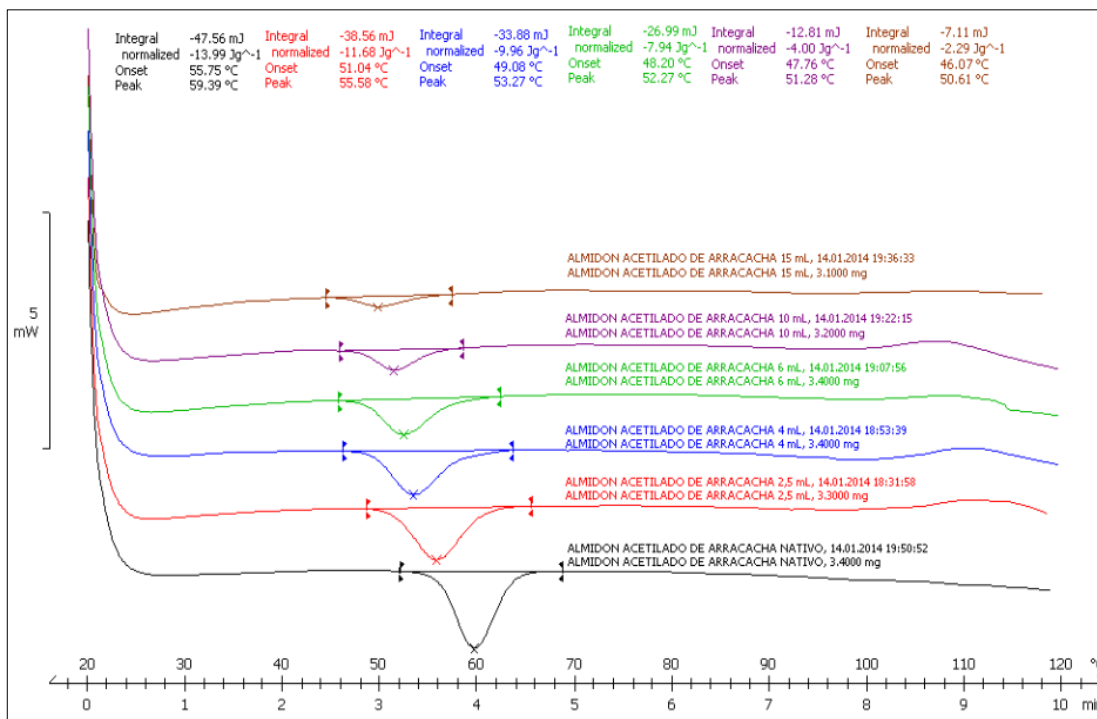


Figura 3-25. Termograma DSC de almidón de Arracacha nativo vs acetilados.



3.8.2. Temperatura de retrogradación

La tabla N°6 muestra los valores de las temperaturas de inicio y pico (T_o , T_p), así como también las entalpías de gelatinización (ΔH) para la determinación de la retrogradación en los almidones estudiados (Los termogramas correspondientes se muestran en las figuras 3-26 y 3-27).

Los almidones nativos presentaron los mayores valores de ΔH en comparación con los acetilados a lo largo de 12 días de almacenamiento a 5°C, hecho que se ve representado en los termogramas por DSC de los mismos, en donde se evidencian pequeños picos endotérmicos entre los 50-60 °C; comportamiento similar a lo obtenido por López O. y colaboradores. (23). Este resultado podría atribuirse a que la amilopectina en los almidones modificados tiene menor grado de organización en las cadenas recrystalizadas, lo que indica una menor

retrogradación y una disminución en la entalpía, es decir que al aumentar los grupos acetilo y disminuir los grupos OH en las cadenas de almidón, disminuye las interacciones entre estas y por lo tanto el nivel de retrogradación según lo indica Rivas M. y colaboradores (15). Por otro lado Singh *et al.*, (2011) indica que los enlaces de hidrógeno también puede ser responsables de la reducción en entalpía del almidón acetilado, debido a las fuerzas inter e intra-molecular y a la repulsión electrostática. (82).

Los almidones de arracacha acetilados no mostraron señales detectables en el termograma, esto podría haber ocurrido porque tras la modificación estos presentaron las tendencias más bajas a retrogradar; hecho que se reflejó en la ausencia de picos que se pudieran integrar para la obtención de los valores de T_o , T_p y ΔH . Sin embargo las muestras de almidones acetilados de maíz si mostraron pequeños picos con sus respectivos valores de T_o , T_p y ΔH ; los cuales fueron menores a los de sus nativos.

Al comparar los termogramas obtenidos para la determinación de la gelatinización y retrogradación en almidones acetilados (Ver Figuras 3-27 y 3-28), se pudo ver que las entalpías de gelatinización con respecto a las de retrogradación fueron mayores, lo que puede deberse a que en el proceso de gelatinización se destruye totalmente la estructura granular del almidón y durante el almacenamiento a baja temperatura no hubo retorno a la estructura original por la presencia de los grupos sustituyentes (83).

Figura 3-26. Termograma DSC de Retrogradación de almidón de Maíz nativo vs acetilados.

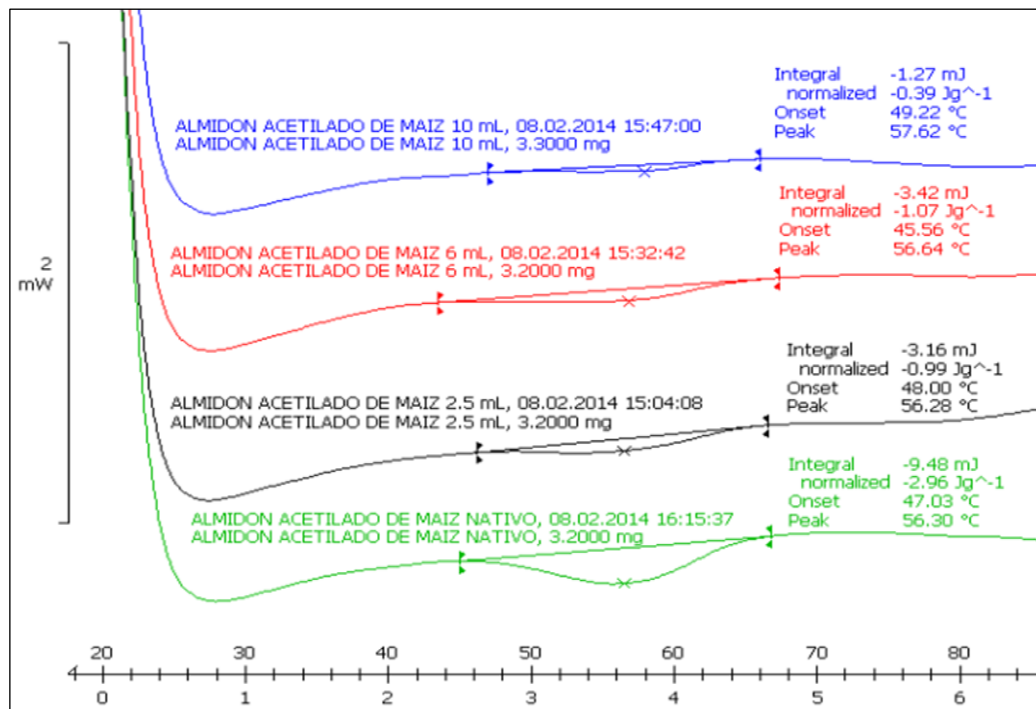
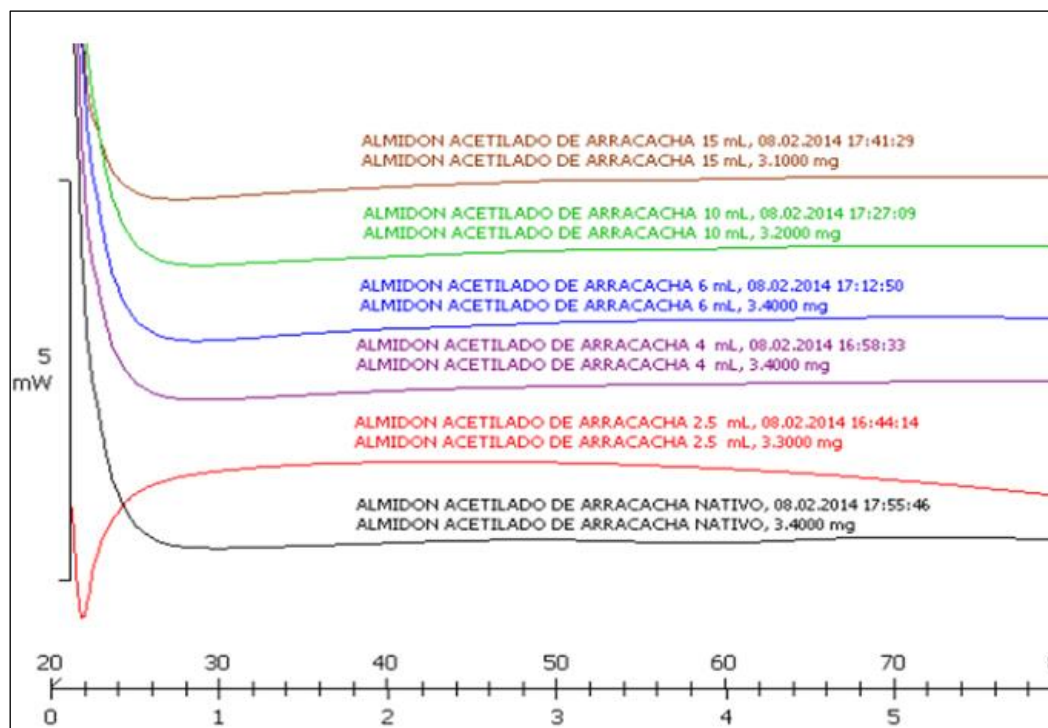


Figura 3-27. Termograma DSC de Retrogradación de almidón de Arracacha nativo vs acetilados.



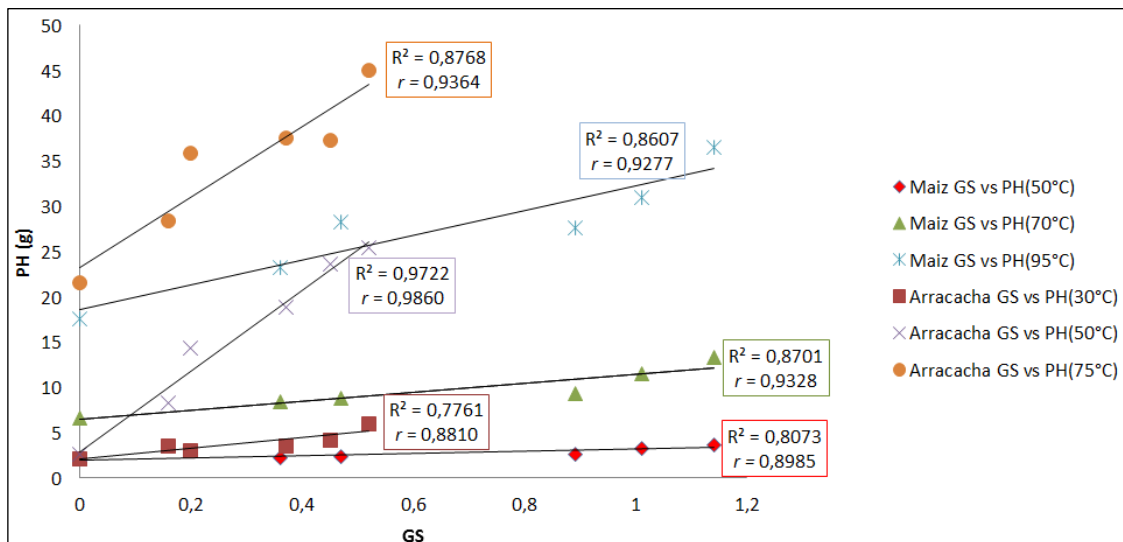
3.9. Determinación del Coeficiente de Pearson

El método más común de determinar si existe asociación lineal entre dos variables cuantitativas continuas es el Análisis de Correlación de Pearson. En este trabajo además de caracterizar los almidones modificados a través de las propiedades de poder de hinchamiento, sólidos solubles, absorción de agua, viscosidad, sinéresis y propiedades térmicas, se determinó cuantitativamente la influencia que el grado de sustitución ejerce sobre las propiedades estudiadas, así mismo se verificó el comportamiento que una variable ejerce sobre la otra, intentando predecir valores deseados en las características que determinan la funcionalidad de almidones modificados.

3.9.1. Correlación entre el Grado de sustitución y Poder de hinchamiento.

Los valores obtenidos en la cuantificación del grado de sustitución (GS) y el poder de hinchamiento (PH) se muestran en la gráfica 3-12. Ver datos primarios de GS en la Tabla 3-5, y en las Tablas A-1 y A-2 en el Anexo A, para el poder de hinchamiento.

Gráfica 3-12. Correlación de GS vs Poder de hinchamiento



Los valores obtenidos en la cuantificación del grado de sustitución (GS) y el poder de hinchamiento (PH) se muestran en la gráfica 3-12. Los valores del poder de hinchamiento para el almidón de maíz determinados a 50 °C, 70 °C y 95°C fueron seleccionados para describir el comportamiento en todo el rango de temperaturas estudiadas para esta propiedad en el material de estudio, las cuales oscilan entre 50 y 95 °C. De igual forma se procedió con el almidón de arracacha el cual se seleccionaron los datos de poder de hinchamiento determinados a 30 °C, 50 °C y 75 °C.

En la gráfica 3-12 se observa una relación de tipo lineal positiva entre el grado de sustitución y el poder de hinchamiento para las dos especies de almidón estudiadas, es decir a medida que el grado de sustitución aumenta los valores para el poder de hinchamiento también aumentan, lo cual coincide con lo descrito por Bello L. y colaboradores (18), y Mbougoung y colaboradores (24), quienes afirman que un mayor grado de sustitución va acompañado por la introducción de grupos acetilos que provocan un reordenamiento en la molécula, permitiéndole cada vez mayor retención de agua.(18,24).

Para el caso del almidón de arracacha se observó que a 30 °C, $r = 0.881$; a 50 °C, $r = 0.986$ y a 75 °C, $r = 0.936$, evidenciándose que la relación entre las variables es mucho más fuerte en los valores de temperatura determinados a 50 y 75 °C respectivamente, mientras que la relación es más baja para los valores determinados a 30 °C. En el caso del almidón de maíz el comportamiento fue similar que el observado para el almidón de arracacha, encontrándose que a 50 °C, $r = 0.898$; a 70 °C, $r = 0.932$ y a 95 °C, $r = 0.927$, la correlación entre variables es más fuerte en las determinaciones realizadas a 70 y 95 °C, mientras que para 50 °C la relación fue más baja. Cabe resaltar que en la gráfica se observa que los valores ingresados para cada especie están distribuidos en rango de temperaturas diferentes, esto se fundamenta en que las propiedades térmicas estudiadas en el almidón de arracacha ocurren a temperaturas más bajas que las

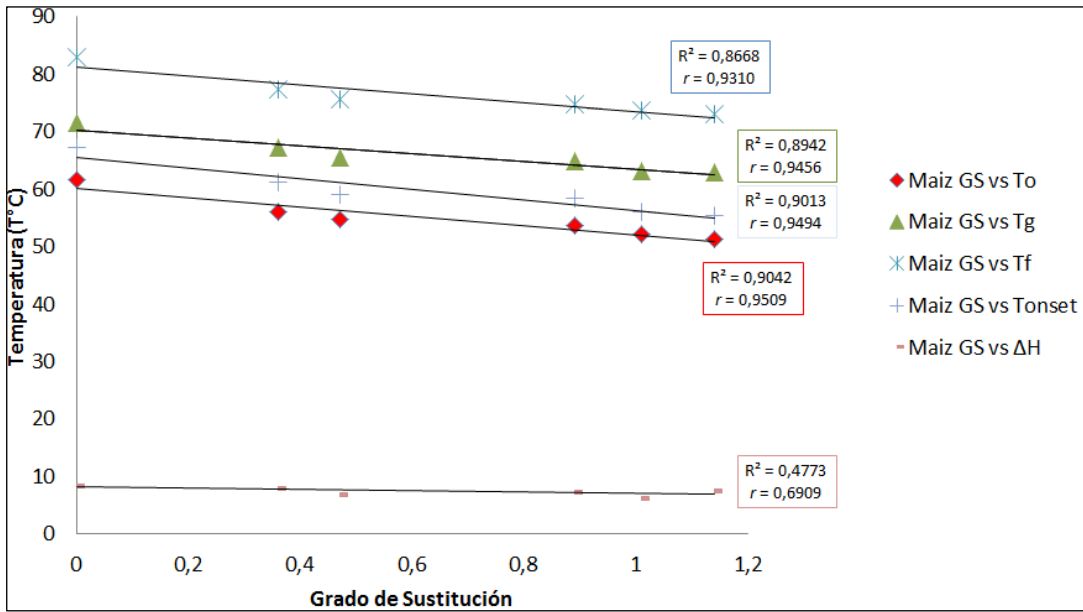
estudiadas para el almidón de maíz. Sin embargo a pesar que se evaluaron en rangos de temperatura diferentes se puede evidenciar que la relación entre variables (GS vs PH) de las dos especies es similar.

La correlación obtenida para el grado de sustitución y poder de hinchamiento permitió conocer y predecir los almidones modificados en términos de su capacidad de retención de agua. Esto es útil en formas farmaceuticas sólidas como las tabletas, en donde se podría pensar en la inclusión de nuevos excipientes, que puedan ser usados como aglutinante; ya que esta propiedad le infiere una buena cohesividad a los polvos, permitiendo obtener un buen granulado, para así alcanzar una tableta más resistente.

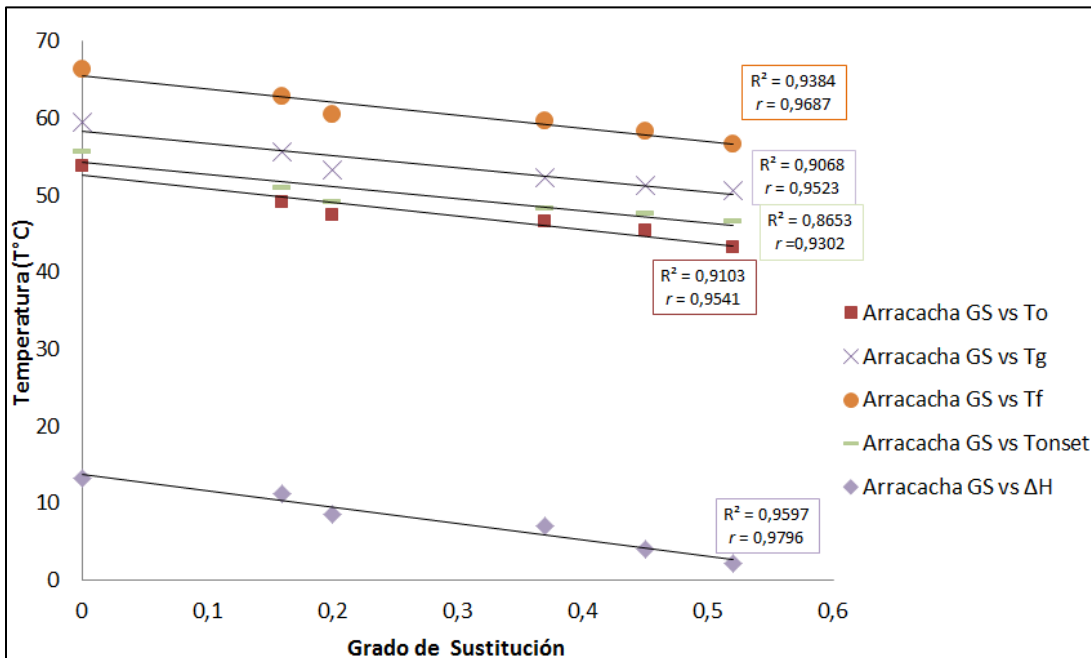
3.9.2. Correlación de Grado de sustitución y Propiedades Térmicas.

Los valores obtenidos en la cuantificación del grado de sustitución (GS) y los valores de los parametros térmicos estudiados, se muestran en la gráfica 3-13 y 3-14. En las gráficas se observa que existe una relacion lineal de tipo negativa entre el grado de sustitución y los valores de los parametros térmicos estudiados, se evidencia que a medida que se incrementa el grado de sustitución los valores de los parametros térmicos disminuyen.

Gráfica 3-13. Correlación de Grado de sustitución y Propiedades Térmicas de Almidones de Maíz



Gráfica 3-14. Correlación de Grado de Sustitución y Propiedades Térmicas de Almidones de Arracacha



Según la gráfica 3-13, se puede observar que para el almidón de maiz la correlación en los parametros termicos T_o , T_g , T_f y T_{onset} tiene una fuerte relación de tipo negativa con respecto al grado de sustitución de almidones acetilados, ya que los valores encontrados del coeficiente de correlación fueron $r = 0,95$; $r = 0,95$; $r = 0,93$ y $r = 0,95(p \leq 0,05)$ respectivamente. Para el caso del almidón de arracacha, como se muestra en la gráfica 3-14, el comportamiento fue similar, es decir se evidencia una fuerte relación de tipo lineal negativa entre las variables estudiadas (GS vs Parametros Térmicos.) siendo los valores encontrados del coeficiente $r = 0,93$; $r = 0,95$; $r = 0,97$ y $r = 0,93 (p \leq 0,05)$ respectivamente.

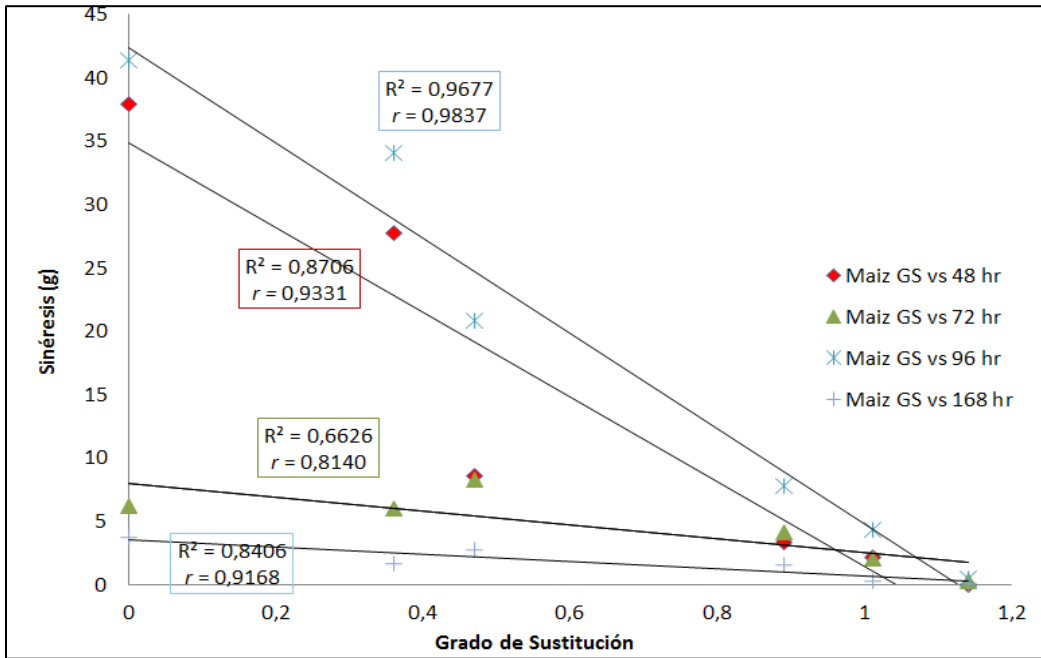
Esta correlación permite describir el comportamiento de los almidones acetilados observandose así una disminución de las propiedades térmicas (T_o , T_g , T_f y T_{onset}) a medida que aumentó el GS, esto debido a que la modificación, provocó que se requirieran menores temperaturas para gelificar, comportamiento reportado por Núñez M. *et al.*,(2011) (81).

La determinación de la correlación entre el grado de sustitución y las propiedades térmicas permitirá predecir el grado de sustitución necesario para obtener almidones con una determinada temperatura de gelatinización, la cual será característica y acorde con el requerimiento de la aplicación farmacéutica.

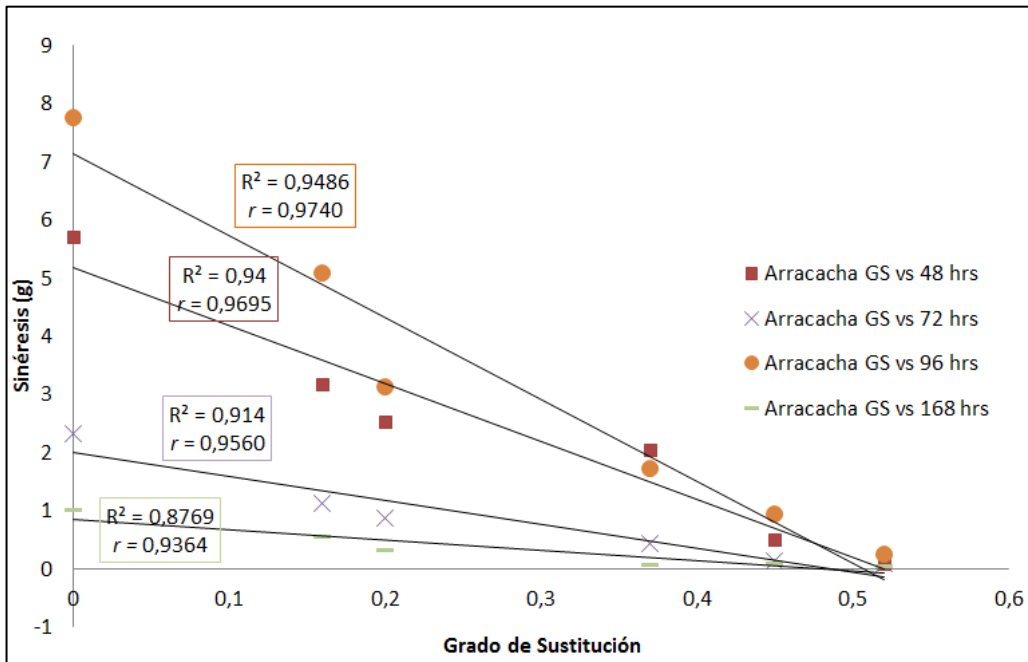
3.9.3. Correlación de Grado de sustitución y Sinéresis

Los valores obtenidos en la cuantificación del grado de sustitución (GS) y los valores de sinéresis estudiados, se presentan en la gráfica 3-15 y 3-16. Se observa que existe una relación lineal de tipo negativa entre el grado de sustitución y los valores de sinéresis estudiados, se evidencia que a medida que se incrementa el grado de sustitución los valores de sinéresis disminuyen.

Gráfica 3-15. Correlación de Grado de Sustitución y Sinéresis de Almidones de Maíz



Gráfica 3-16. Correlación de Grado de Sustitución y Sinéresis de Almidones de Arracacha



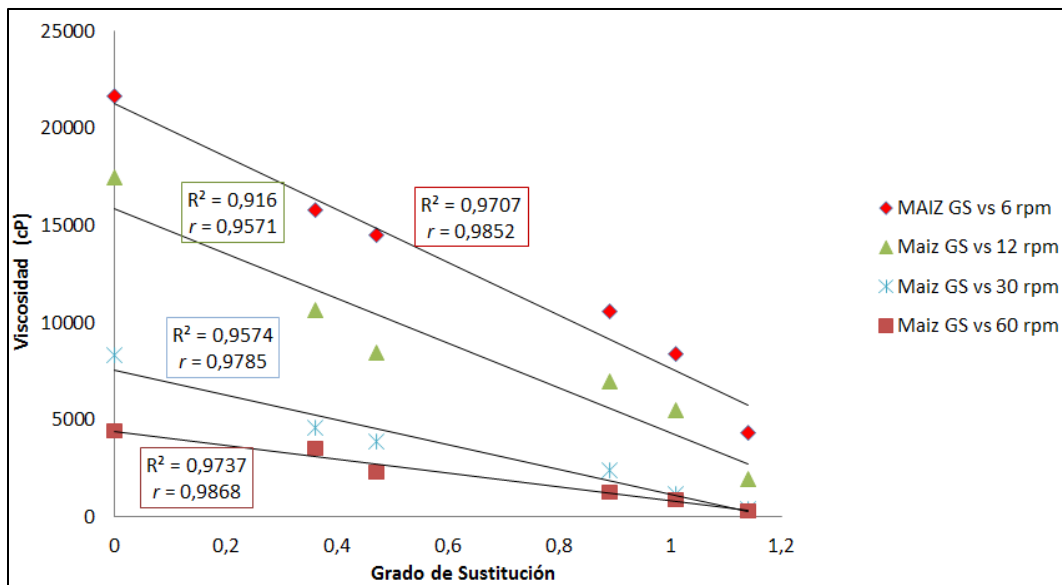
En cada una de las gráficas 3-15 y 3-16, se utilizaron los resultados de los grados de sustitución con los obtenidos de sinéresis estudiados a 48, 72, 96 y 168 hr para almidón de maíz y arracacha respectivamente (Ver datos primarios en Tabla 3-5, para GS y Tablas D-1 y D-2 para Sinéresis en Anexo D) Para el almidón de Maíz, en la gráfica 3-15, se observa una fuerte correlación lineal negativa, puesto que se evidencia que a medida que se incrementan los valores del grado de sustitución, los valores de sinéresis estudiados a 48, 72, 96 y 168 horas disminuyen, obteniéndose valores del coeficiente $r = 0,93$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 48 horas, $r = 0,81$ ($p \leq 0,05$) para Sinéresis a 72 horas, $r = 0,98$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 96 horas y $r = 0,91$ ($p \leq 0,05$) para Sinéresis a 168 horas. Para el almidón de arracacha, en la gráfica 3-16 se observa el mismo comportamiento que para el almidón de maíz, existe una fuerte correlación lineal negativa, puesto que a medida que se incrementan los valores del grado de sustitución, los valores de sinéresis estudiados a 48, 72, 96 y 168 horas disminuyen. Los valores del coeficiente para el almidón de arracacha son $r = 0,97$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 48 horas, $r = 0,95$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 72 horas, $r = 0,97$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 96 horas y $r = 0,93$ ($p \leq 0,05$) para sinéresis a 168 horas.

Las correlaciones obtenidas entre el grado de sustitución y los valores de sinéresis evaluados para almidones de maíz y arracacha modificados, constituyen un importante hallazgo para establecer la tendencia entre estas propiedades. Con la obtención de esta gráfica podríamos predecir cuál sería el grado de sustitución adecuado para obtener almidones que posean una determinada capacidad de retención de agua a diferentes tiempos de almacenamiento, de acuerdo al requerimiento de la aplicación farmacéutica. Este sería el primer aporte a la literatura científica de las correlaciones de estas propiedades para el almidón de arracacha.

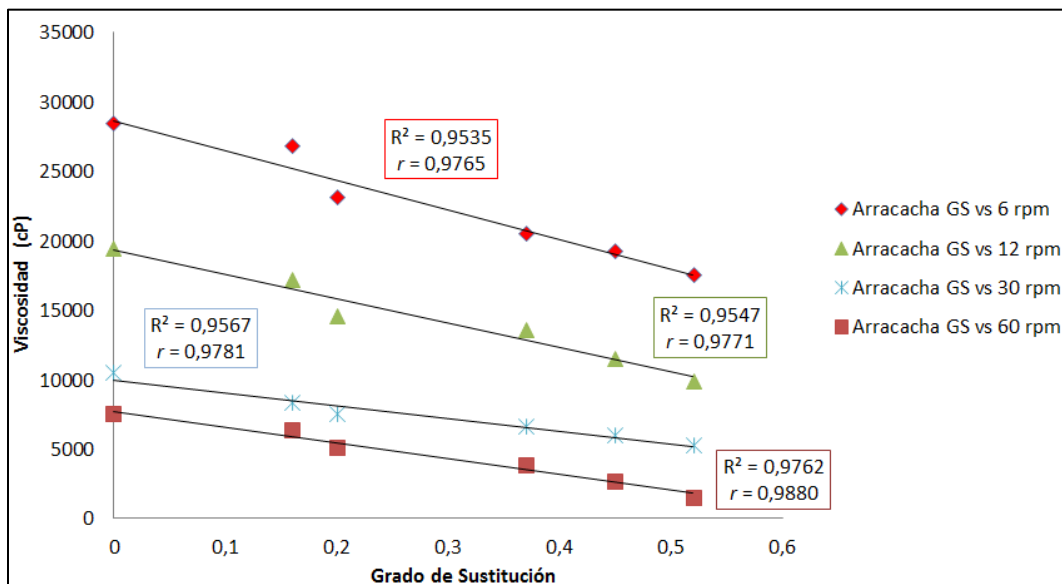
3.9.4. Correlación de Grado de sustitución y viscosidad

Los valores obtenidos en la cuantificación del grado de sustitución (GS) y los valores de viscosidad estudiados, se muestran en la gráfica 3-17 y 3-18. Ver datos primarios en la Tabla 3-5 para GS y en el anexo E para los resultados obtenidos en el ensayo de viscosidad.

Gráfica 3-17. Correlación de Grado de Sustitución y Viscosidad de Almidones de Maíz



Gráfica 3-18. Correlación de Grado de Sustitución y Viscosidad de Almidones de Arracacha.



En estas se observa que existe una relación lineal de tipo negativa entre el grado de sustitución y los valores de viscosidad estudiados, se evidencia que a medida que se incrementa el grado de sustitución los valores de viscosidad disminuyen.

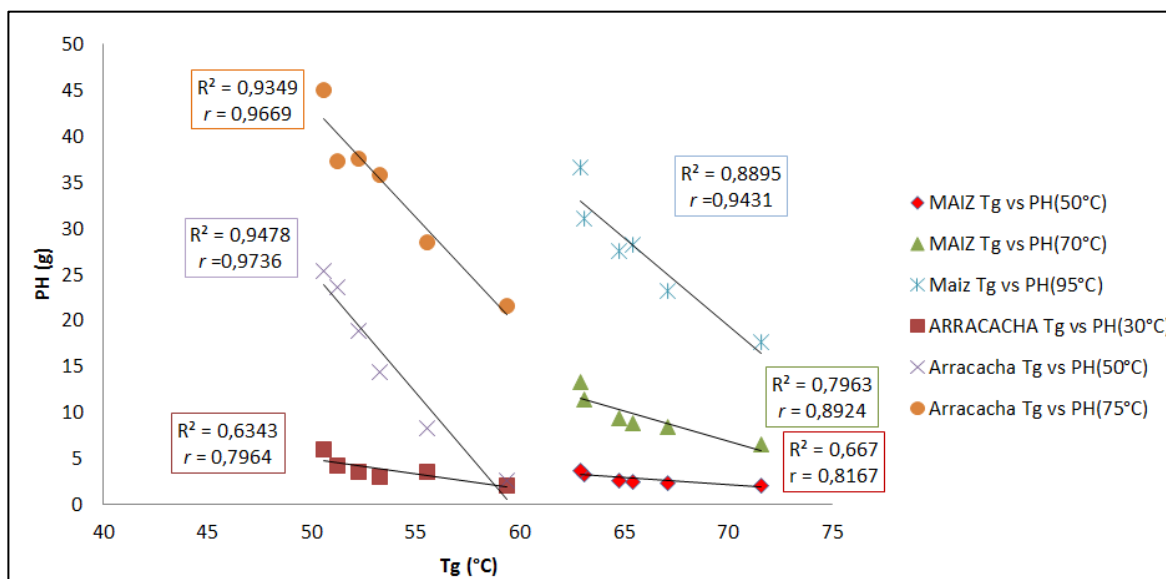
En cada una de las gráficas 3-17 y 3-18, se presentan los resultados de los grados de sustitución con los resultados obtenidos de viscosidad estudiados a 6, 12, 30 y 60 rpm para almidón de maíz y arracacha respectivamente. Para el almidón de maíz, en la gráfica 31, se observa una fuerte correlación lineal negativa, puesto que se evidencia que a medida que se incrementan los valores del grado de sustitución, los valores de viscosidad estudiados a 6, 12, 30 y 60 rpm disminuyen, obteniéndose valores del coeficiente $r = 0,99$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 6 rpm, $r = 0,96$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 12 rpm, $r = 0,98$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 30 rpm y $r = 0,99$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 60 rpm. Para el almidón de arracacha, en la gráfica 30 se observa el mismo comportamiento que para el almidón de maíz, existe una fuerte correlación lineal negativa, puesto que a medida que se incrementan los valores de GS, los valores de viscosidad estudiados a 6, 12, 30 y 60 rpm disminuyen. Los valores del coeficiente para el almidón de arracacha son $r = 0,98$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 6 rpm, $r = 0,98$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 12 rpm, $r = 0,98$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 30 rpm y $r = 0,99$ ($p \leq 0,05$) para viscosidad a 60 rpm.

La correlación desarrollada puede ser útil para predecir el grado de influencia del grado de sustitución en las características de viscosidad y gelificación de los almidones modificados. El establecimiento de este tipo de propiedades ha sido estudiado por varios autores que buscan, ampliar el uso de almidones de diferentes orígenes en la industria de alimento. (62,84)

3.9.5. Correlación de Temperatura de gelatinización y Poder de Hinchamiento

Se realizó un análisis de correlación entre la temperatura de gelatinización (T_g) de almidones modificados de maíz y arracacha frente a su respectivo poder de hinchamiento, encontrándose un comportamiento similar en todos los casos. Ver datos primarios de temperatura de gelatinización en Tabla 3-6, y de poder de hinchamiento en el anexo A, Tablas A-1 y A-2.

Gráfica 3-19. Correlación de T_g °C y poder de hinchamiento de Almidones de Maíz y Arracacha



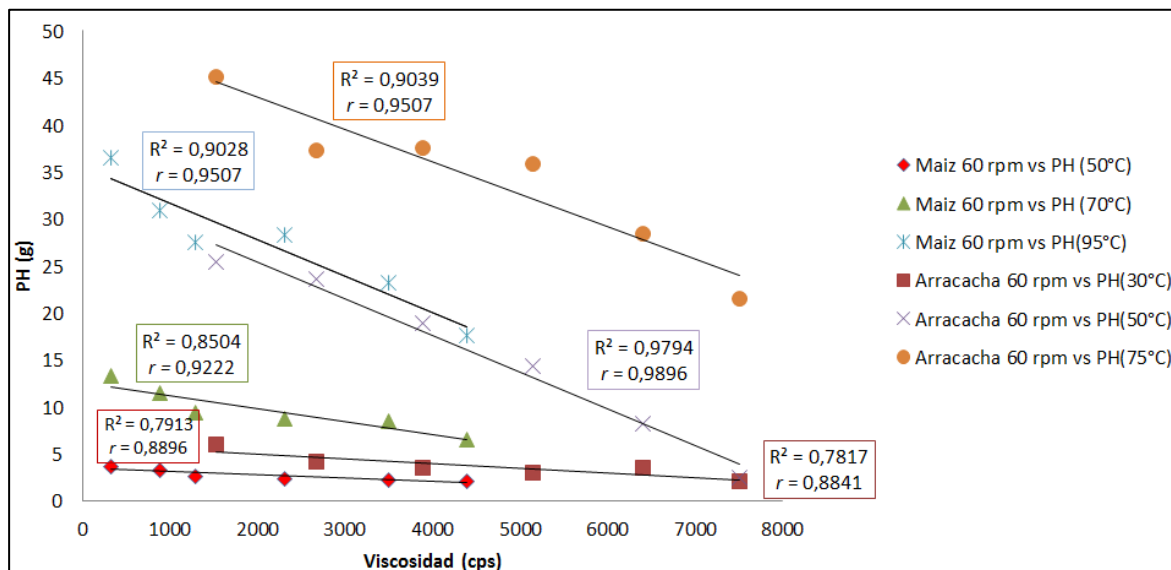
En la gráfica se puede evidenciar que a medida que la temperatura de gelatinización aumenta por la disminución del grado de sustitución, el poder de hinchamiento disminuye; es decir, que existe una fuerte correlación lineal de tipo negativa en los almidones modificados. Este comportamiento ocurre especialmente en los valores de poder de hinchamiento evaluados a las temperaturas más altas, $r = 0,97$ ($p \leq 0,05$) para almidón de arracacha PH 50°C y 75°C, $r = 0,89$ ($p \leq 0,05$) para almidón de maíz PH 70°C y $r = 0,94$ ($p \leq 0,05$) para almidón de maíz PH 95°C.

Teniendo en cuenta que el poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua y que esta depende del grado de sustitución del almidón modificado, hay que señalar que este poder de hinchamiento está directamente relacionado con la temperatura de gelatinización, ya que cuando los almidones alcanzan dicha temperatura comienzan a hincharse, aumentando así la viscosidad de la pasta. De este modo es posible conocer el poder de hinchamiento en cada nivel de sustitución de los almidones modificados. La correlación resalta el potencial de la evaluación del poder de hinchamiento y la temperatura de gelatinización como herramienta para poder seleccionar almidones con temperaturas de gelatinización óptimas en procesos industriales específicos y para tener una herramienta que permita, conociendo una de las propiedades, saber el valor de la otra (70,84,85).

3.9.6. Correlación de Viscosidad y Poder de Hinchamiento

Se graficaron los valores obtenidos de viscosidad a 60 rpm contra los obtenidos de poder de hinchamiento de almidones modificados de maíz (50, 70 y 95°C) y arracacha (30, 50 y 75°C). Datos primarios de poder de hinchamiento se presentan en el anexo A, Tablas A-1 y A-2, y en el anexo E, en las tablas E-1 y E-2 se observan los resultados de viscosidad.

Gráfica 3-20. Correlación de Viscosidad y Poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz y Arracacha



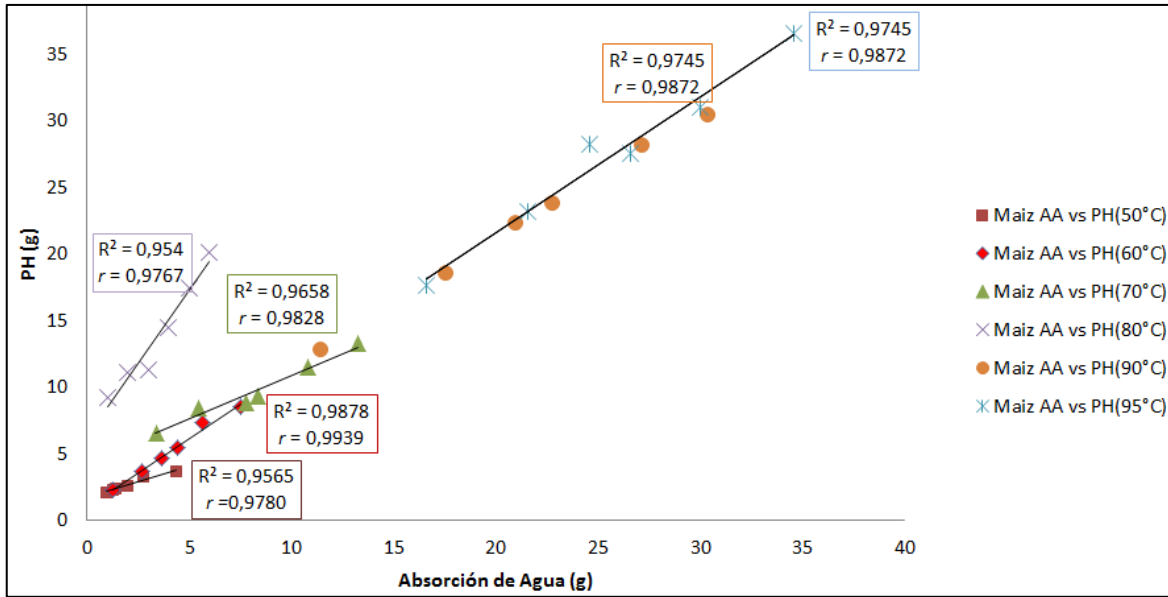
En la gráfica 3-21 se puede evidenciar que el comportamiento de las variables evaluadas a diferentes temperaturas es similar para los almidones de maíz y arracacha. El comportamiento observado corresponde a una fuerte correlación lineal de tipo negativa puesto que a medida que los valores de viscosidad aumentan los valores del poder de hinchamiento disminuyen, hay que resaltar que la correlación se hace mas fuerte en las temperaturas mas altas de los valores de poder de hinchamiento.

Considerando que el incremento del grado de sustitución disminuye la viscosidad en los almidones de Maíz y arracacha, ya que la introducción de grupos acetilos a a molecula impide el reasociación de las cadenas del polimero según lo descrito por Rincón y colaboradores (14). Este efecto se ve reflejado gradualmente en los valores de Poder de hinchamiento en las temperaturas evaluadas.

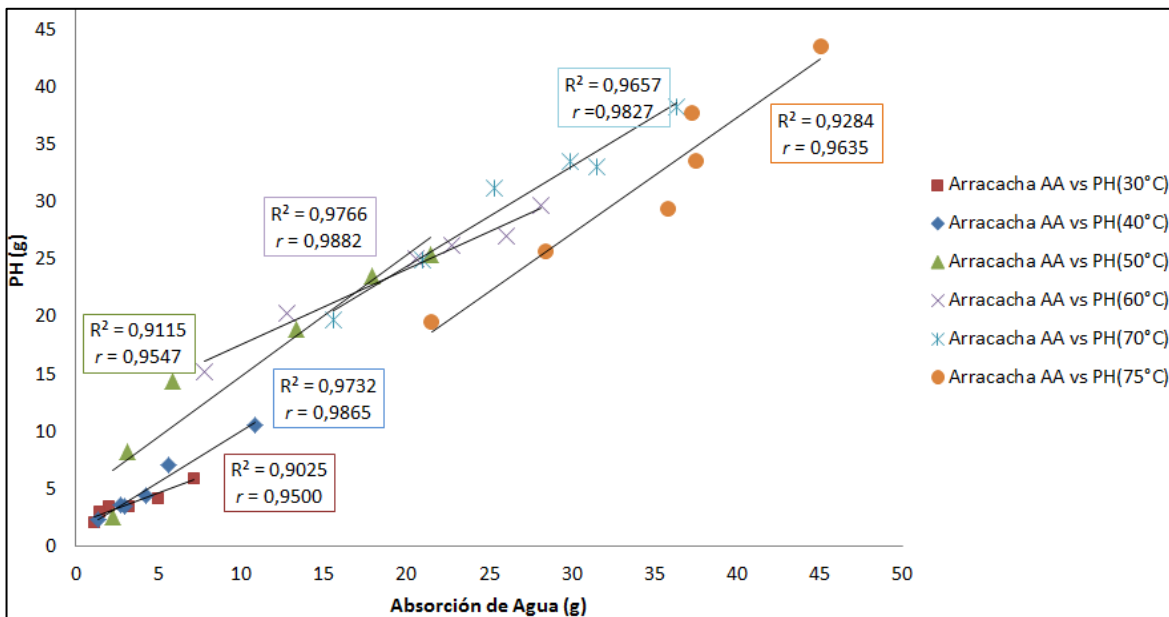
3.9.7. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento.

Se realizó un análisis de correlación entre los valores obtenidos a diferentes temperaturas de la capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento de almidones modificados. Ver datos primarios de poder de hinchamiento en las tablas A-1 y A-2, Anexo A; y tablas C-1 y C-2, Anexo C, para el Índice de absorción.

Gráfica 3-21. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz



Gráfica 3-22. Correlación de Absorción de Agua y Poder de Hinchamiento de Almidones de Arracacha

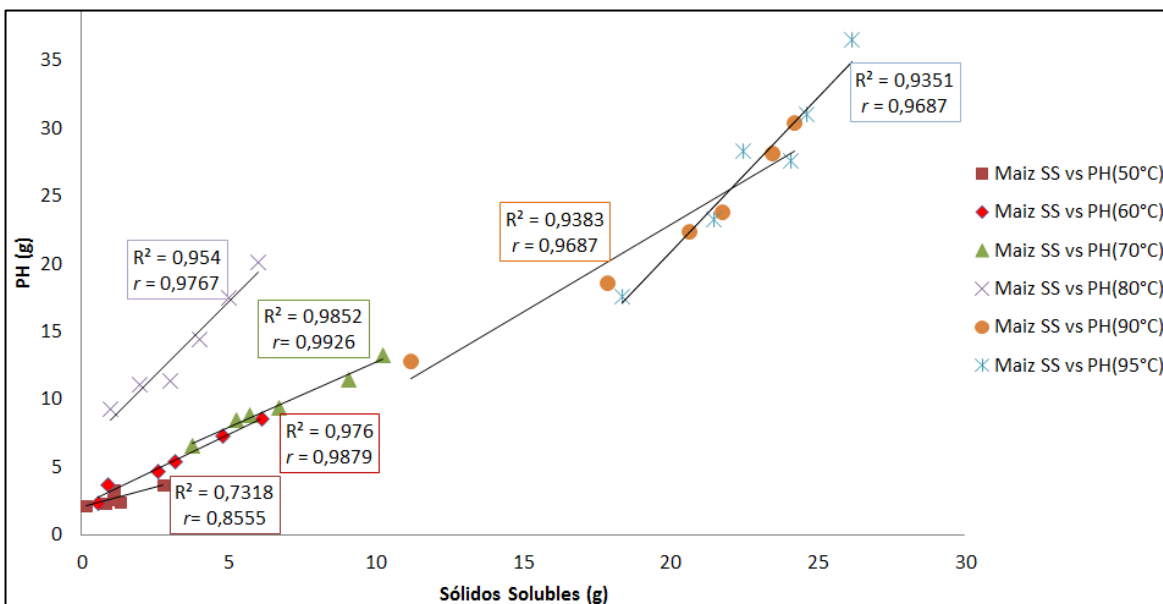


En la gráfica se observa que cada rango de datos correspondiente a una temperatura evaluada tiene una fuerte correlación lineal de tipo positiva y el comportamiento es similar en todos los casos evaluados. Hay que resaltar que a medida que se incrementa la temperatura se evidencia que los valores del poder de hinchamiento también se incrementan gradualmente en el gráfico. Teniendo en cuenta lo descrito por Garnica *et al.*, (2010), donde señala que el poder de hinchamiento y el índice de absorción de agua, presentaron alta correlación con un valor de $r = 0.998$. Lo anterior es corroborado por Hevia *et al.*, (2001), quienes afirman que el poder de hinchamiento indica cuánta agua puede absorber el almidón. (68,69)

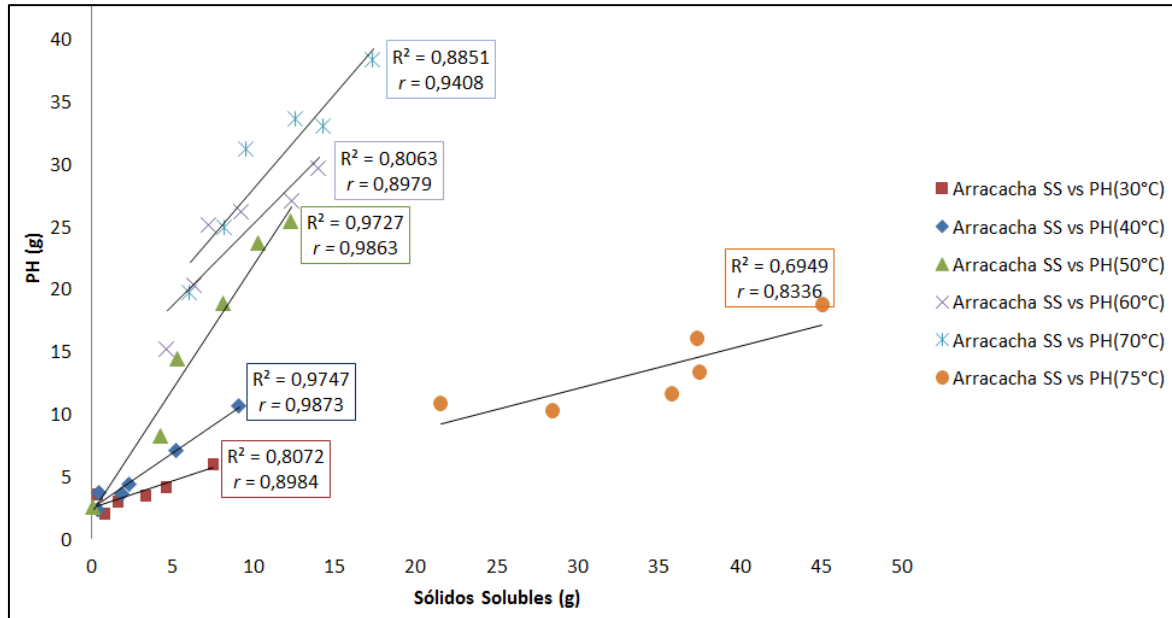
3.9.8. Correlación de Sólido Solubles y Poder de Hinchamiento.

Se graficaron los resultados obtenidos de sólidos solubles y poder de hinchamiento para almidones modificados de maíz y arracacha a diferentes temperaturas. Los datos primarios de las Gráficas 3-24 y 3-25 se presentan en el anexo A, tablas A-1 y A-2 para el poder de hinchamiento, y en el anexo B, los valores de sólidos solubles en las tablas B-1 y B-2.

Gráfica 3-23. Correlación de Sólidos Solubles y Poder de Hinchamiento de Almidón de Maíz



Gráfica 3-24. Correlación de Sólidos Solubles y Poder de Hinchamiento de Almidón de Arracacha

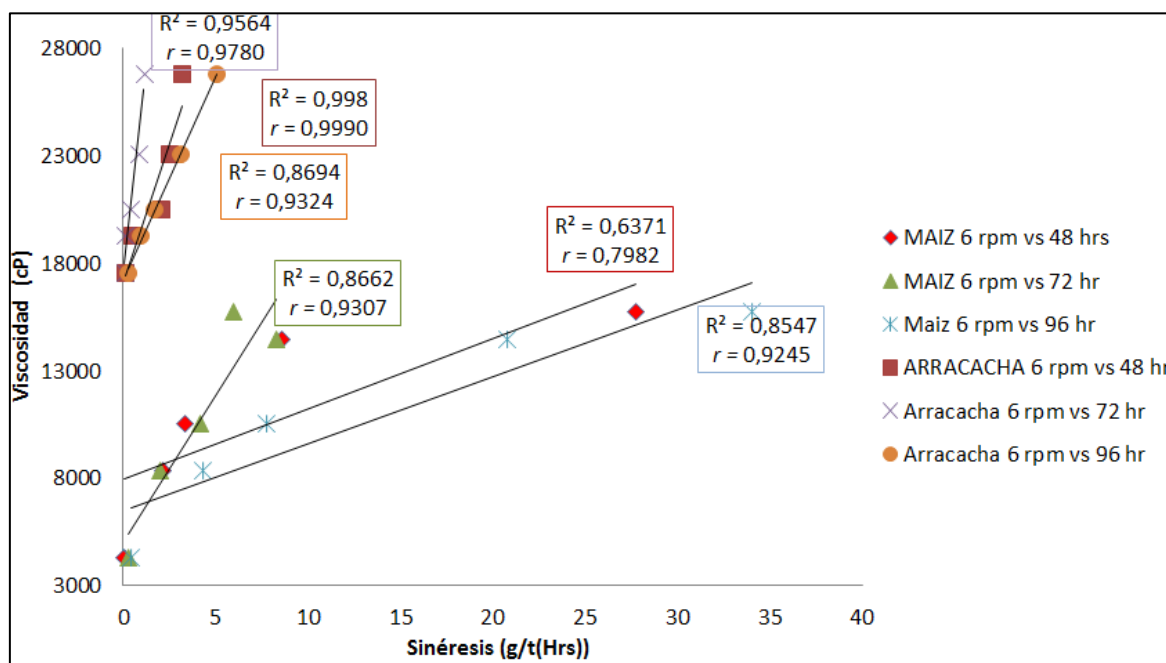


Se observa en las gráficas un comportamiento similar a cada temperatura evaluada. La gráfica muestra una fuerte correlación lineal de tipo positiva en cada rango de datos correspondiente a cada temperatura del poder de hinchamiento, reflejando así una fuerte relación entre las variables estudiadas. Hay que resaltar que el comportamiento describe que a medida que se incrementa los valores de sólidos solubles el poder de hinchamiento también, así como hay un incremento al subir la temperatura para los casos de almidones modificados de maíz y arracacha.

3.9.9. Correlación de Sinéresis y Viscosidad.

En la Gráfica 3-26 se confrontan los resultados obtenidos a partir del ensayo de viscosidad a 6 rpm con los valores de sinéresis evaluados a 48, 72 y 96 horas. Los datos primarios aparecen en las tablas D-1 y D-2, Anexo D para sinéresis; y en las tablas E-1 y E-2, anexo E, para los datos de viscosidad.

Gráfica 3-25. Correlación de Sinéresis y Viscosidad de Almidones de Maíz y Arracacha



Entre las variables se aprecia una correlación lineal de tipo positiva puesto que a medida que se incrementa la sinéresis los valores de viscosidad aumentan. Este comportamiento es similar para las correlaciones obtenidas con los datos de Sinéresis a 48, 72 y 96 horas para los almidones modificados de maíz y arracacha.

Una síntesis de las correlaciones obtenidas entre las propiedades estudiadas de los almidones modificados de maíz y arracacha se muestran en la siguiente tabla:.

Tabla 3-7. Coeficientes de correlación de Pearson entre varias propiedades de los almidones modificados.

	GS	S (72 hr)	PH (30°C)	PH (50°C)	PH (75°C)	AA (30°C)	AA (50°C)	AA (75°C)	SS (30°C)	SS (50°C)	SS (75°C)	T _o	T _g	T _f	ΔH	T _{Onset}
S (72 hr)	0.914															
PH (30°C)	0.881	-0.806														
PH (50°C)	0.986	-0.961														
PH (75°C)	0.936	-0.938														
AA (30°C)	0.915	-0.781	0.950	0.871	0.819											
AA (50°C)	0.969	-0.859	0.861	0.955	0.880											
AA (75°C)	0.987	-0.938	0.915	0.983	0.964											
SS (30°C)	0.910	-0.768	0.898	0.893	0.865	0.970	0.968	0.940								
SS (50°C)	0.996	-0.964	0.902	0.986	0.951	0.916	0.957	0.994								
SS (75°C)	0.905	-0.759	0.885	0.892	0.834	0.975	0.972	0.932								
T_o	0.954	0.980	-0.879	-0.960	-0.977	-0.830	-0.871	-0.966	-0.828	-0.972	-0.811					
T_g	0.952	0.991	-0.796	-0.974	-0.967	-0.776	-0.868	-0.949	-0.793	-0.962	-0.780					
T_f	0.969	0.977	-0.857	-0.985	-0.983	-0.842	-0.907	-0.980	-0.860	-0.981	-0.847					
ΔH	0.980	0.924	-0.879	-0.989	-0.948	-0.923	-0.973	-0.993	-0.942	-0.984	-0.944					
T_{Onset}	0.930	0.991	-0.799	-0.947	-0.961	-0.746	-0.824	-0.929	-0.752	-0.945	-0.733					
Visc. (6 rpm)	0.977	0.934	-0.817	-0.993	-0.961	-0.868	-0.961	-0.979	-0.914	-0.973	-0.903	0.942	0.957	0.973	0.985	0.926
Visc. (12rpm)	0.977	0.946	-0.869	-0.993	-0.970	-0.892	-0.952	-0.992	-0.917	-0.985	-0.913	0.968	0.966	0.989	0.996	0.941
Visc. (30 rpm)	0.978	0.990	-0.863	-0.981	-0.970	-0.845	-0.906	-0.976	-0.845	-0.987	-0.833	0.993	0.992	0.995	0.963	0.985
Visc. (60 rpm)	0.988	0.928	-0.884	-0.990	-0.951	-0.928	-0.980	-0.996	-0.947	-0.989	-0.943	0.947	0.942	0.971	0.998	0.912

En todos los casos la correlación es significativa con $P < 0,05$. S, sinéresis; PH, Poder de Hinchamiento, AA, almidones de Arracacha, SS, sólidos solubles, T_o, Temp. Inicial, T_g, Temp. De gelatinización, T_f, Temp. Final; ΔH entalpía de gelatinización; Visc., viscosidad adiferentes velocidades.

4. Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La acetilación fue evidenciada por el método de espectroscopia infrarroja de reflectancia difusa que permitió confirmar la modificación química realizada al demostrar la existencia de grupos sustituidos en los almidones acetilados.

El ensayo empleado para la cuantificación de las muestras acetiladas permitió determinar los grupos acetilos y porcentaje de acetilos en almidones de Arracacha y de Maíz. La modificación química por acetilación realizada a los almidones nativos de Arracacha y al de referencia, permitió obtener almidones acetilados en diferentes grados de sustitución, a medida que el volumen de anhídrido acético fue variado, bajo condiciones de pH y temperatura constantes. Los rangos de acetilación oscilaron entre 0,16 y 0,52 grados de sustitución para el almidón de arracacha y entre 0,36 y 1,14 grados de sustitución para el almidón de maíz.

La modificación química de los almidones en estudio favoreció el aumento del poder de hinchamiento, la solubilidad y el índice de absorción de agua a medida que el grado de sustitución aumentó siendo estos resultados significativamente diferentes frente a los almidones nativos.

El comportamiento térmico determinado por calorimetría diferencial de barrido (DSC) de los almidones nativos y acetilados revelaron una disminución notable en las temperaturas estudiadas (T_o , T_p , T_f , T_{onset}) y las entalpías de gelatinización (ΔH).

La viscosidad aparente de las pastas de almidón, determinadas en diferentes puntos específicos de velocidad de deslizamiento (6, 12, 30 y 60 rpm) se vieron disminuidas a medida que se incrementa el grado de sustitución de los almidones de maíz y arracacha.

La sinéresis considerada como la capacidad de pérdida de agua de las pastas de almidón estudiada a diferentes tiempos de almacenamiento (24, 48, 72, 96 y 168 horas) evidenció una disminución notable a medida que aumentó el grado de sustitución, por lo tanto se podría afirmar que la modificación química por acetilación puede disminuir este comportamiento en almidones de maíz y arracacha.

La retrogradación obtenida en los resultados de los estudios realizados evidenciaron que esta disminuye notablemente por la modificación (acetilación), con respecto a sus respectivos almidones nativos; obteniéndose geles más estables y resistentes a las bajas temperaturas por la acetilación.

Se obtuvieron muy buenas correlaciones entre la mayoría de las variables estudiadas mediante la determinación del coeficiente de correlación de Pearson (r), lo que puede constituir una muy buena herramienta para conocer el comportamiento de variables más complejas de determinar a partir del conocimiento de otras, cuya determinación es más sencilla.

4.2 Recomendaciones

Continuar estudiando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones acetilados de Arracacha y de este modo hacer posible la comprensión del comportamiento y utilidad que a nivel farmacéutico puedan poseer.

Realizar estudios que permitan establecer las condiciones necesarias para lograr modificaciones en las muestras de almidón de Arracacha con grados de sustitución más altos y evaluar la influencia de estos cambios en las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Realizar otro tipo de modificaciones Químicas, a los almidones nativos de Arracacha caracterizando sus propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales.

Ejecutar investigaciones en la búsqueda de usos innovadores de los almidones nativos o modificados en nuestro país.

5. ANEXO A: DATOS PRIMARIOS DE PODER DE HINCHAMIENTO EN DIFERENTES TEMPERATURAS DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ

Tabla . A-1. Datos primarios de Poder de Hinchamiento de almidones de Maíz

PH	MN	M2,5	M4	M6	M10	M15
50	2,11 ± 0,041	2,30±0,173	2,42±0,111	2,60±0,067	3,27±0,119	3,70±0,323
55	2,15 ± 0,018	2,66±0,041	2,88± 0,120	3,22±0,078	4,45±0,302	5,60±0,39
60	2,29 ± 0,006	3,68±0,172	4,64±0,349	5,42±0,247	7,32±0,323	8,51±0,052
65	3,33 ± 0,153	6,65±0,293	7,52±0,132	8,21±0,097	9,06±0,259	10,20±0,027
70	6,57 ± 0,158	8,45±0,154	8,81±0,233	9,37±0,084	11,46±0,227	13,27±0,099
75	8,36 ± 0,132	9,63±0,122	10,45± 0,189	11,29±0,106	13,34± 0,155	15,44±0,127
80	9,27 ± 0,242	11,09±0,499	11,32±0,413	14,44±0,290	17,46±0,258	20,08±0,317
85	10,17 ± 0,267	15,08±0,471	17,70±0,407	20,07±0,684	23,34±0,380	26,08±0,064
90	12,80 ± 0,291	18,58±0,164	22,31±0,412	23,81±0,077	28,13±0,285	30,40±0,227
95	17,61 ± 0,247	23,23±0,190	28,27±0,444	27,58±0,267	30,99±0,447	36,55±0,239

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

Tabla .A-2. Datos primarios de Poder de Hinchamiento de almidones de Arracacha

PH	AN	A2,5	A4	A6	A10	A15
30	2,10 ± 0,053	2,30±0,173	2,42±0,111	2,60±0,067	3,27±0,119	3,70±0,323
35	2,15 ± 0,058	2,66±0,041	2,88± 0,120	3,22±0,078	4,45±0,302	5,60±0,39
40	2,36 ± 0,054	3,68±0,172	4,64±0,349	5,42±0,247	7,32±0,323	8,51±0,052
45	2,48 ± 0,109	6,65±0,293	7,52±0,132	8,21±0,097	9,06±0,259	10,20±0,027
50	2,57± 0,081	8,45±0,154	8,81±0,233	9,37±0,084	11,46±0,227	13,27±0,099
55	6,25 ± 0,259	9,63±0,122	10,45± 0,189	11,29±0,106	13,34± 0,155	15,44±0,127
60	9,27 ± 0,242	11,09±0,499	11,32±0,413	14,44±0,290	17,46±0,258	20,08±0,317
65	10,17 ± 0,267	15,08±0,471	17,70±0,407	20,07±0,684	23,34±0,380	26,08±0,064
70	12,80 ± 0,291	18,58±0,164	22,31±0,412	23,81±0,077	28,13±0,285	30,40±0,227
75	17,61 ± 0,247	23,23±0,190	28,27±0,444	27,58±0,267	30,99±0,447	36,55±0,239

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

6. ANEXO B: DATOS PRIMARIOS DE SÓLIDOS SOLUBLES DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ

Tabla. B-1. Datos primarios de Sólidos Solubles de almidones de Maíz

SS	MN	M2,5	M4	M6	M10	M15
50	0,17 ± 0,036	0,80 ± 0,446	1,30 ± 0,221	1,05 ± 0,354	1,13 ± 0,031	2,76 ± 0,657
55	0,32 ± 0,044	0,97 ± 0,059	0,93 ± 0,397	1,62 ± 0,244	2,39 ± 0,146	3,50 ± 0,240
60	0,57 ± 0,243	0,90 ± 0,144	2,60 ± 0,354	3,18 ± 0,208	4,79 ± 0,480	6,11 ± 0,041
65	1,12 ± 0,340	3,64 ± 0,211	4,60 ± 0,122	4,95 ± 0,327	6,72 ± 0,387	7,55 ± 0,142
70	3,77 ± 0,328	5,26 ± 0,227	5,71 ± 0,376	6,71 ± 0,133	9,06 ± 0,319	10,24 ± 0,326
75	5,55 ± 0,293	7,02 ± 0,235	8,94 ± 0,356	10,61 ± 0,331	12,14 ± 0,249	15,33 ± 0,109
80	6,05 ± 0,273	10,37 ± 0,211	12,54 ± 0,379	13,730 ± 0,360	16,60 ± 0,308	18,10 ± 0,228
85	7,54 ± 0,111	14,09 ± 0,077	16,64 ± 0,250	19,03 ± 0,442	21,09 ± 0,365	23,30 ± 0,296
90	11,20 ± 0,435	17,86 ± 0,336	20,63 ± 0,202	21,78 ± 0,362	23,45 ± 0,387	24,23 ± 0,170
95	18,36 ± 0,201	21,46 ± 0,383	22,48 ± 0,304	24,07 ± 0,378	24,63 ± 0,191	26,16 ± 0,273

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

Tabla .B-2. Datos primarios de Sólidos Solubles de almidones de Arracacha.

SS	AN	A2,5	A4	A6	A10	A15
30	0,79 ± 0,278	0,40 ± 0,108	1,60 ± 0,017	3,34 ± 0,25	4,57 ± 0,167	7,53 ± 0,146
35	0,38 ± 0,132	0,61 ± 0,315	1,69 ± 0,150	2,10 ± 0,064	4,10 ± 0,175	7,76 ± 0,076
40	0,48 ± 0,027	0,54 ± 0,219	1,94 ± 0,178	2,37 ± 0,092	5,29 ± 0,114	9,14 ± 0,238
45	0,26 ± 0,190	2,12 ± 0,121	3,02 ± 0,131	4,85 ± 0,220	8,18 ± 0,224	11,17 ± 0,281
50	0,17 ± 0,082	4,29 ± 0,138	5,35 ± 0,156	8,20 ± 0,315	10,36 ± 0,206	12,32 ± 0,108
55	3,06 ± 0,074	5,44 ± 0,183	6,66 ± 0,169	8,72 ± 0,070	11,35 ± 0,293	13,43 ± 0,135
60	4,69 ± 0,266	6,41 ± 0,294	7,31 ± 0,187	9,31 ± 0,340	12,37 ± 0,218	14,06 ± 0,123
65	5,45 ± 0,219	7,34 ± 0,249	8,58 ± 0,166	10,46 ± 0,210	13,16 ± 0,123	15,26 ± 0,118
70	6,09 ± 0,296	8,23 ± 0,111	9,61 ± 0,285	12,64 ± 0,302	14,34 ± 0,069	17,40 ± 0,211
75	10,87 ± 0,065	10,24 ± 0,166	11,58 ± 0,239	13,34 ± 0,279	16,04 ± 0,142	18,70 ± 0,155

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

7. ANEXO C: DATOS PRIMARIOS DE ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA DE ALMIDONES DE ARRACACHA Y MAÍZ

Tabla .C-1 Datos primarios de Índice de Absorción de almidones de Maíz

AA	MN	M2,5	M4	M6	M10	M15
50	0,98 ± 0,016	1,30 ± 0,173	1,42 ± 0,111	1,96 ± 0,019	2,73 ± 0,020	4,37 ± 0,125
55	1,15 ± 0,018	1,66 ± 0,041	1,88 ± 0,120	2,22 ± 0,078	3,45 ± 0,302	5,26 ± 0,080
60	1,29 ± 0,006	2,68 ± 0,144	3,64 ± 0,349	4,42 ± 0,247	5,66 ± 0,322	7,51 ± 0,052
65	1,73 ± 0,068	4,32 ± 0,251	6,52 ± 0,132	7,21 ± 0,097	8,06 ± 0,259	10,13 ± 0,083
70	3,37 ± 0,111	5,45 ± 0,154	7,81 ± 0,233	8,37 ± 0,084	10,80 ± 0,225	13,27 ± 0,099
75	5,18 ± 0,060	6,63 ± 0,122	8,88 ± 0,108	10,29 ± 0,106	12,67 ± 0,397	15,44 ± 0,127
80	6,60 ± 0,0292	8,43 ± 0,180	10,32 ± 0,413	13,44 ± 0,290	17,64 ± 0,199	22,43 ± 0,313
85	8,50 ± 0,245	12,41 ± 0,141	15,66 ± 0,111	19,40 ± 0,202	23,11 ± 0,120	27,41 ± 0,275
90	11,47 ± 0,166	17,58 ± 0,164	20,97 ± 0,453	22,81 ± 0,077	27,13 ± 0,285	30,40 ± 0,227
95	16,61 ± 0,247	21,56 ± 0,229	24,60 ± 0,116	26,58 ± 0,267	29,99 ± 0,447	34,55 ± 0,239

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

Tabla .C-2 Datos primarios de Índice de Absorción de almidones de Arracacha

AA	AN	A2,5	A4	A6	A10	A15
30	1,09 ± 0,055	1,96 ± 0,012	1,40 ± 0,074	3,15 ± 0,002	4,94 ± 0,016	7,11 ± 0,017
35	1,15 ± 0,059	2,14 ± 0,070	2,51 ± 0,099	3,76 ± 0,069	5,13 ± 0,006	9,39 ± 0,026
40	1,36 ± 0,055	2,66 ± 0,108	2,94 ± 0,016	4,24 ± 0,117	5,62 ± 0,300	10,84 ± 0,066
45	1,86 ± 0,083	2,85 ± 0,045	3,48 ± 0,148	4,98 ± 0,088	11,27 ± 0,149	14,12 ± 0,039
50	2,18 ± 0,038	3,09 ± 0,039	5,83 ± 0,293	13,34 ± 0,161	17,92 ± 0,389	21,46 ± 0,217
55	2,96 ± 0,017	8,48 ± 0,133	15,33 ± 0,062	19,64 ± 0,085	22,95 ± 0,053	26,20 ± 0,210
60	7,74 ± 0,090	12,75 ± 0,067	20,58 ± 0,194	22,70 ± 0,049	26,04 ± 0,629	28,14 ± 0,056
65	9,45 ± 0,258	17,49 ± 0,150	22,55 ± 0,006	25,28 ± 0,180	28,98 ± 0,724	33,41 ± 0,047
70	15,57 ± 0,170	20,93 ± 0,003	25,34 ± 0,164	29,91 ± 0,190	31,52 ± 0,898	36,34 ± 0,153
75	19,49 ± 0,261	25,59 ± 0,198	29,39 ± 0,185	33,58 ± 0,504	37,68 ± 0,562	43,44 ± 0,119

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

8. ANEXO D: DATOS PRIMARIOS DE SINÉRESIS

Tabla . D-1 Datos primarios de Sinéresis para almidones de Maíz

TIEMPO (h)	MN	M2,5	M4	M6	M10	M15
48	37,91±0,792	27,76 ±0,175	8,59 ±0,302	3,31 ±0,333	2,11±0,036	0,03±0,002
72	6,23 ±0,128	5,97 ±0,221	8,26 ±0,605	4,17 ±0,006	2,01±0,095	0,29±0,108
96	41,34 ±1,517	34,04 ±0,170	20,81 ±0,87	7,76 ±0,070	4,31±0,114	0,45±0,138
168	3,72 ±0,670	1,62 ±0,285	2,74 ±0,704	1,52 ±0,160	0,33±0,121	0,13±0,056

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

Tabla .D-2 Datos primarios de Sinéresis para almidones de Arracacha

TIEMPO (h)	AN	A2,5	A4	A6	A10	A15
48	5,70 ±0,085	3,18 ±0,229	2,52 ±0,113	2,05 ±0,017	0,51±0,025	0,09±0,020
72	2,33 ±0,331	1,13 ±0,349	0,86 ±0,073	0,43 ±0,022	0,14 ±0,032	0,08±0,009
96	7,75 ±0,548	5,09 ±0,243	3,13 ±0,007	1,72 ±0,102	0,93±0,012	0,24± 0,023
168	1,00 ±0,694	0,55 ±0,288	0,325 ±0,055	0,056 ±0,024	0,09±0,022	0,05± 0,018

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

9. ANEXO E: DATOS PRIMARIOS DE VISCOSIDAD

Tabla .E-1 Datos primarios de viscosidades de almidones de Maíz

Velocidad de deformación (rpm)	MN	M2.5	M4	M6	M10	M15
6	21595,67± 84,818	15729,33± 159,035	14458,33± 100,456	10562,33± 339,697	8322,00± 63,222	4291,33± 26,744
12	17435,33± 217,667	10586,67± 44,168	8435,33± 217,667	6943,33± 34,158	5432,00± 0,00	1883,33± 50,363
30	8299,00± 43,000	4571,67± 39,667	3858,33± 46,337	2351,67± 39,772	1138,67± 61,985	373,33± 13,482
60	4388± 71,547	3495,67± 94,397	2302,67± 58,652	1282,67± 36,085	877,67± 22,24	322,33± 9,838

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

Tabla .E-2 Datos primarios de viscosidades de almidones de Arracacha

Velocidad de deformación (rpm)	AN	A2,5	A4	A6	A10	A15
6	28405,67± 212,074	26799,00± 417,479	23089,33± 45,116	20517,67± 199,270	19291,33± 16,974	17552,00± 161,853
12	19399,67± 225,134	17219,00± 166,734	14539,67± 12,019	13596,67± 135,902	11529,67± 195,849	9882,00± 9,000
30	10491,00± 129,863	8301,00± 65,552	7509,67± 120,028	6649,00± 54,01	6020,00± 4,359	5294,00± 69,010
60	7504,33± 41,333	6400,67± 16,231	5136,00± 102,504	3879,33± 6,839	2674,33± 37,100	1522,67± 6,064

Los resultados fueron expresados como promedio ± ESM

10. ANEXO F: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR

- Análisis de varianza de un factor de %A en almidones modificados

Tabla 18. F-1 Análisis de Varianza de un factor de %A de almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	497,5	4	124,4	F (4, 10) = 2556	5,143	P < 0,0001	SI
Dentro	0,4867	10	0,04867	-	-	-	
Total	498,0	14	-	-	-	-	

Tabla 19.F-2 Análisis de Varianza de un factor de %A de almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	142,9	4	35,73	F (4, 10) = 1191	5,143	P < 0,0001	SI
Dentro	0,3000	10	0,03000	-	-	-	
Total	143,2	14	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor de GS en almidones modificados

Tabla 20. F-3 Análisis de Varianza de un factor de GS de almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	1,396	4	0,349	F (4, 10) = 1745	5,143	P < 0,0001	SI
Dentro	0,0020	10	0,00020	-	-	-	
Total	1,398	14	-	-	-	-	

Tabla 21.F-4 Análisis de Varianza de un factor de GS de almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	0,2926	4	0,07314	F (4, 10) = 1371	5,143	P < 0,0001	SI
Dentro	0,0005333	10	5,333e-005	-	-	-	
Total	0,2931	14	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor para poder de hinchamiento

Tabla 22. F-5 Análisis de varianza de un factor para poder de hinchamiento de Almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	345031	5	69006	F (5, 12) = 629,4	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	1316	12	109,6	-	-	-	
Total	346347	17	-	-	-	-	

Tabla 23.F-6 Análisis de varianza de un factor para poder de hinchamiento de Almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	918478	5	183696	F (5, 12) = 431,2	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	5112	12	426,0	-	-	-	
Total	923590	17	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor para sólidos solubles

Tabla 24. F-7 Análisis de varianza de un factor para sólidos solubles de Almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	285470	5	57094	F (5, 12) = 300,4	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	2280	12	190,0	-	-	-	
Total	287750	17	-	-	-	-	

Tabla 25. F-8 Análisis de varianza de un factor para sólidos solubles de Almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	395292	5	79058	F (5, 12) = 3720	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	255,0	12	21,25	-	-	-	
Total	395547	17	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor para Absorción de agua

Tabla 26. F-9 Análisis de varianza de un factor para Absorción de agua de Almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	518275	5	103655	F (5, 12) = 4337	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	286,8	12	23,90	-	-	-	
Total	518561	17	-	-	-	-	

Tabla 27.F-10 Análisis de varianza de un factor para Absorción de agua de Almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	1,184e+006	5	236841	F (5, 12) = 14367	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	197,8	12	16,48	-	-	-	
Total	1,184e+006	17	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor de Sinéresis

Tabla 28. F-11 Análisis de varianza de un factor para Sinéresis de Almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	1,764e+007	5	3,529e+006	F (5, 12) = 637,2	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	66458	12	5538	-	-	-	
Total	1,771e+007	17	-	-	-	-	

Tabla 29. F-12 Análisis de varianza de un factor de Sinéresis para Almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	560173	5	112035	F (5, 12) = 1108	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	1214	12	101,2	-	-	-	
Total	561387	17	-	-	-	-	

- Análisis de varianza de un factor para viscosidad

Tabla 30. F-14 Análisis de varianza de un factor de Viscosidad para Almidones de Maíz

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	4,484e+011	5	8,968e+010	F (5, 12) = 5313	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	2,025e+008	12	1,688e+007	-	-	-	
Total	4,486e+011	17	-	-	-	-	

Tabla 31. F-15 Análisis de varianza de un factor de Viscosidad para Almidones de Arracacha

Fuente de la Variación	SS	DF	MS	F (DFn/ DFd)	F tabulado	P	Diferencia (P < 0.05)
Entre	2,645e+011	5	5,291e+010	F (5, 12) = 2657	4,07	P < 0,0001	SI
Dentro	2,390e+008	12	1,991e+007	-	-	-	
Total	2,648e+011	17	-	-	-	-	

11. ANEXO G: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS TEST DE COMPARACIÓN DE TUKEY

- Test de comparación múltiple Tukey de %A

Tabla 32. G-1 Test de comparación múltiple Tukey de %A de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
M2,5 vs.M4	8,767	11,03	-2,267	17,80	10	si
M2,5 vs.M6	8,767	19,17	-10,40	81,65	10	si
M2,5 vs. M10	8,767	21,20	-12,43	97,62	10	si
M2,5 vs. M15	8,767	23,37	-14,60	114,6	10	si
M4 vs.M6	11,03	19,17	-8,133	63,86	10	si
M4 vs. M10	11,03	21,20	-10,17	79,82	10	si
M4 vs. M15	11,03	23,37	-12,33	96,83	10	si
M6 vs. M10	19,17	21,20	-2,033	15,96	10	si
M10 vs. M15	19,17	23,37	-4,200	32,98	10	si

Tabla 33. G-2 Test de comparación múltiple Tukey de %A de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
A2,5 vs.A4	4,100	5,200	-1,100	11,00	10	si
A2,5 vs. A6	4,100	8,633	-4,533	45,33	10	si
A2,5 vs. A10	4,100	10,63	-6,533	65,33	10	si
A2,5 vs. A15	4,100	12,17	-8,067	80,67	10	si
A4 vs. A6	5,200	8,633	-3,433	34,33	10	si
A4 vs. A10	5,200	10,63	-5,433	54,33	10	si
A4 vs. A15	5,200	12,17	-6,967	69,67	10	si
A6 vs. A10	8,633	10,63	-2,000	20,00	10	si
A6 vs. A15	8,633	12,17	-3,533	35,33	10	si

- Test de comparación múltiple Tukey de GS

Tabla 34. G-3 Test de comparación múltiple Tukey de GS para Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
Detalle del test	8,767	11,03	-2,267	17,80	10	si
M2,5 vs.M4	8,767	19,17	-10,40	81,65	10	si
M2,5 vs.M6	8,767	21,20	-12,43	97,62	10	si
M2,5 vs. M10	8,767	23,37	-14,60	114,6	10	si
M2,5 vs. M15	11,03	19,17	-8,133	63,86	10	si
M4 vs.M6	11,03	21,20	-10,17	79,82	10	si
M4 vs. M10	11,03	23,37	-12,33	96,83	10	si
M4 vs. M15	19,17	21,20	-2,033	15,96	10	si
M6 vs. M10	19,17	23,37	-4,200	32,98	10	si

Tabla 35. G-4 Test de comparación múltiple Tukey de GS para Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
A2,5 vs.A4	0,3633	0,4667	-0,1033	12,66	10	si
A2,5 vs. A6	0,3633	0,8867	-0,5233	64,10	10	si
A2,5 vs. A10	0,3633	1,010	-0,6467	79,20	10	si
A2,5 vs. A15	0,3633	1,140	-0,7767	95,12	10	si
A4 vs. A6	0,4667	0,8867	-0,4200	51,44	10	si
A4 vs. A10	0,4667	1,010	-0,5433	66,54	10	si
A4 vs. A15	0,4667	1,140	-0,6733	82,47	10	si
A6 vs. A10	0,8867	1,010	-0,1233	15,11	10	si
A6 vs. A15	0,8867	1,140	-0,2533	31,03	10	si

- Test de comparación múltiple Tukey de Poder de Hinchamiento
Tabla 36. G-5 Test de comparación múltiple Tukey de Poder de Hinchamiento para almidones de Maíz.

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M 2,5	323,9	442,9	-119,0	19,68	12	si
MN vs. M4	323,9	504,8	-180,9	29,92	12	si
MN vs. M6	323,9	554,5	-230,6	38,14	12	si
MN vs. M10	323,9	658,4	-334,4	55,32	12	si
MN vs. M15	323,9	748,4	-424,5	70,22	12	si
M2,5 vs. M4	442,9	504,8	-61,90	10,24	12	si
M2,5 vs. M6	442,9	554,5	-111,6	18,47	12	si
M2,5 vs. M10	442,9	658,4	-215,5	35,64	12	si
M2,5 vs. M15	442,9	748,4	-305,5	50,54	12	si
M4 vs. M6	504,8	554,5	-49,73	8,227	12	si
M4 vs. M10	504,8	658,4	-153,6	25,40	12	si
M4 vs. M15	504,8	748,4	-243,6	40,30	12	si
M6 vs. M10	554,5	658,4	-103,8	17,18	12	si
M6 vs. M15	554,5	748,4	-193,9	32,07	12	si
M10 vs. M15	658,4	748,4	-90,07	14,90	12	si

Tabla 37. G-6 Test de comparación múltiple Tukey de Poder de Hinchamiento para almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	400,9	598,9	-198,0	16,62	12	si
AN vs. A4	400,9	776,1	-375,2	31,49	12	si
AN vs. A6	400,9	850,1	-449,2	37,69	12	si
AN vs. A10	400,9	948,1	-547,2	45,92	12	si
AN vs. A15	400,9	1091	-689,8	57,88	12	si
A2,5 vs. A4	598,9	776,1	-177,2	14,87	12	si
A2,5 vs. A6	598,9	850,1	-251,1	21,07	12	si
A2,5 vs. A10	598,9	948,1	-349,2	29,30	12	si
A2,5 vs. A15	598,9	1091	-491,7	41,26	12	si
A4 vs. A6	776,1	850,1	-73,97	6,207	12	si
A4 vs. A10	776,1	948,1	-172,0	14,43	12	si
A4 vs. A15	776,1	1091	-314,6	26,40	12	si
A6 vs. A10	850,1	948,1	-98,03	8,227	12	si
A6 vs. A15	850,1	1091	-240,6	20,19	12	si
A10 vs. A15	948,1	1091	-142,6	11,96	12	si

- Test de comparación múltiple Tukey de sólidos solubles

Tabla 38.G-7 Test de comparación múltiple Tukey de sólidos solubles de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M 2,5	226,8	356,3	-129,5	16,27	12	si
MN vs. M4	226,8	422,3	-195,4	24,56	12	si
MN vs. M6	226,8	470,8	-244,0	30,65	12	si
MN vs. M10	226,8	545,6	-318,8	40,05	12	si
MN vs. M15	226,8	614,1	-387,2	48,65	12	si
M2,5 vs. M4	356,3	422,3	-65,97	8,288	12	si
M2,5 vs. M6	356,3	470,8	-114,5	14,39	12	si
M2,5 vs. M10	356,3	545,6	-189,3	23,78	12	si
M2,5 vs. M15	356,3	614,1	-257,8	32,39	12	si
M4 vs. M6	422,3	470,8	-48,53	6,098	12	si
M4 vs. M10	422,3	545,6	-123,3	15,50	12	si
M4 vs. M15	422,3	614,1	-191,8	24,10	12	si
M6 vs. M10	470,8	545,6	-74,80	9,398	12	si
M6 vs. M15	470,8	614,1	-143,3	18,00	12	si
M10 vs. M15	545,6	614,1	-68,47	8,603	12	si

Tabla 39.G-8 Test de comparación múltiple Tukey de sólidos solubles de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	400,9	598,9	-198,0	16,62	12	si
AN vs. A4	400,9	776,1	-375,2	31,49	12	si
AN vs. A6	400,9	850,1	-449,2	37,69	12	si
AN vs. A10	400,9	948,1	-547,2	45,92	12	si
AN vs. A15	400,9	1091	-689,8	57,88	12	si
A2,5 vs. A4	598,9	776,1	-177,2	14,87	12	si
A2,5 vs. A6	598,9	850,1	-251,1	21,07	12	si
A2,5 vs. A10	598,9	948,1	-349,2	29,30	12	si
A2,5 vs. A15	598,9	1091	-491,7	41,26	12	si
A4 vs. A6	776,1	850,1	-73,97	6,207	12	si
A4 vs. A10	776,1	948,1	-172,0	14,43	12	si
A4 vs. A15	776,1	1091	-314,6	26,40	12	si
A6 vs. A10	850,1	948,1	-98,03	8,227	12	si
A6 vs. A15	850,1	1091	-240,6	20,19	12	si
A10 vs. A15	948,1	1091	-142,6	11,96	12	si

- Test de comparación múltiple Tukey de Absorción de Agua
- Tabla 40.G-9 Test de comparación múltiple Tukey de Absorción de Agua de almidones de Maíz**

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M 2,5	240,5	352,9	-112,4	39,84	12	si
MN vs. M4	240,5	443,5	-203,0	71,92	12	si
MN vs. M6	240,5	512,1	-271,6	96,24	12	si
MN vs. M10	240,5	624,3	-383,8	136,0	12	si
MN vs. M15	240,5	756,5	-516,0	182,8	12	si
M2,5 vs. M4	352,9	443,5	-90,57	32,09	12	si
M2,5 vs. M6	352,9	512,1	-159,2	56,41	12	si
M2,5 vs. M10	352,9	624,3	-271,4	96,16	12	si
M2,5 vs. M15	352,9	756,5	-403,6	143,0	12	si
M4 vs. M6	443,5	512,1	-68,63	24,32	12	si
M4 vs. M10	443,5	624,3	-180,8	64,07	12	si
M4 vs. M15	443,5	756,5	-313,0	110,9	12	si
M6 vs. M10	512,1	624,3	-112,2	39,75	12	si
M6 vs. M15	512,1	756,5	-244,4	86,59	12	si
M10 vs. M15	624,3	756,5	-132,2	46,84	12	si

Tabla 41.G-10 Test de comparación múltiple Tukey de Absorción de Agua de almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	262,8	420,8	-158,0	67,40	12	si
AN vs. A4	262,8	569,8	-307,0	131,0	12	si
AN vs. A6	262,8	711,1	-448,3	191,2	12	si
AN vs. A10	262,8	853,7	-590,9	252,1	12	si
AN vs. A15	262,8	1026	-762,9	325,4	12	si
A2,5 vs. A4	420,8	569,8	-149,0	63,55	12	si
A2,5 vs. A6	420,8	711,1	-290,3	123,8	12	si
A2,5 vs. A10	420,8	853,7	-432,9	184,7	12	si
A2,5 vs. A15	420,8	1026	-604,9	258,0	12	si
A4 vs. A6	569,8	711,1	-141,3	60,29	12	si
A4 vs. A10	569,8	853,7	-284,0	121,1	12	si
A4 vs. A15	569,8	1026	-455,9	194,5	12	si
A6 vs. A10	711,1	853,7	-142,6	60,85	12	si
A6 vs. A15	850,1	1091	-240,6	20,19	12	si
A10 vs. A15	948,1	1091	-142,6	11,96	12	si

- Test de comparación múltiple Tukey de Sinéresis

Tabla 42. G-11 Test de comparación múltiple Tukey de Sinéresis de almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	2723	2169	554,3	12,90	12	si
MN vs. M4	2723	1399	1324	30,82	12	si
MN vs. M6	2723	567,2	2156	50,17	12	si
MN vs. M10	2723	292,2	2431	56,58	12	si
MN vs. M15	2723	33,97	2689	62,59	12	si
M2,5 vs. M4	2169	1399	770,0	17,92	12	si
M2,5 vs. M6	2169	567,2	1601	37,27	12	si
M2,5 vs. M10	2169	292,2	1876	43,67	12	si
M2,5 vs. M15	2169	33,97	2135	49,68	12	si
M4 vs. M6	1399	567,2	831,5	19,35	12	si
M4 vs. M10	1399	292,2	1106	25,75	12	si
M4 vs. M15	1399	33,97	1365	31,76	12	si
M6 vs. M10	567,2	292,2	275,0	6,400	12	si
M6 vs. M15	567,2	33,97	533,2	12,41	12	si
M10 vs. M15	292,2	33,97	258,2	6,010	12	si

Tabla 43. G-12 Test de comparación múltiple Tukey de Sinéresis de almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	532,0	328,9	203,1	34,97	12	si
AN vs. A4	532,0	212,8	319,2	54,98	12	si
AN vs. A6	532,0	119,8	412,2	70,98	12	si
AN vs. A10	532,0	57,10	474,9	81,78	12	si
AN vs. A15	532,0	16,64	515,4	88,75	12	si
A2, 5 vs. A4	328,9	212,8	116,2	20,01	12	si
A2, 5 vs. A6	328,9	119,8	209,1	36,01	12	si
A2, 5 vs. A10	328,9	57,10	271,8	46,81	12	si
A2, 5 vs. A15	328,9	16,64	312,3	53,78	12	si
A4 vs. A6	212,8	119,8	92,93	16,00	12	si
A4 vs. A10	212,8	57,10	155,7	26,81	12	si
A4 vs. A15	212,8	16,64	196,1	33,77	12	si
A6 vs. A10	119,8	57,10	62,74	10,80	12	si
A6 vs. A15	119,8	16,64	103,2	17,77	12	si
A10 vs. A15	57,10	16,64	40,45	6,967	12	si

- Test de comparación múltiple Tukey de viscosidad

Tabla 44. G-13 Test de comparación múltiple Tukey de viscosidad de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	539007	336383	202624	85,43	12	si
MN vs. M4	539007	271739	267268	112,7	12	si
MN vs. M6	539007	190687	348320	146,9	12	si
MN vs. M10	539007	130643	408364	172,2	12	si
MN vs. M15	539007	49269	489738	206,5	12	si
M2,5 vs. M4	336383	271739	64644	27,25	12	si
M2,5 vs. M6	336383	190687	145696	61,43	12	si
M2,5 vs. M10	336383	130643	205740	86,74	12	si
M2,5 vs. M15	336383	49269	287114	121,0	12	si
M4 vs. M6	271739	190687	81052	34,17	12	si
M4 vs. M10	271739	130643	141096	59,49	12	si
M4 vs. M15	271739	49269	222470	93,79	12	si
M6 vs. M10	190687	130643	60044	25,31	12	si
M6 vs. M15	190687	49269	141418	59,62	12	si
M10 vs. M15	130643	49269	81374	34,31	12	si

Tabla 45. G-14 Test de comparación múltiple Tukey de viscosidad de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	682362	582259	100103	38,85	12	si
AN vs. A4	682362	501016	181346	70,39	12	si
AN vs. A6	682362	442479	239883	93,11	12	si
AN vs. A10	682362	380825	301537	117,0	12	si
AN vs. A15	682362	321136	361226	140,2	12	si
A2,5 vs. A4	582259	501016	81243	31,53	12	si
A2,5 vs. A6	582259	442479	139780	54,25	12	si
A2,5 vs. A10	582259	380825	201434	78,19	12	si
A2,5 vs. A15	582259	321136	261123	101,4	12	si
A4 vs. A6	501016	442479	58537	22,72	12	si
A4 vs. A10	501016	380825	120191	46,65	12	si
A4 vs. A15	501016	321136	179880	69,82	12	si
A6 vs. A10	442479	380825	61654	23,93	12	si
A6 vs. A15	442479	321136	121343	47,10	12	si
A10 vs. A15	380825	321136	59689	23,17	12	si

12. ANEXO H: TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS TEST DE COMPARACIÓN DE DUNNET

- Test de comparación múltiple Dunnet para poder de Hinchamiento

Tabla 46. H-1 Test de comparación múltiple Dunnet para poder de Hinchamiento de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	323,9	442,9	-119,0	13,91	12	Si
MN vs. M4	323,9	504,8	-180,9	21,16	12	Si
MN vs. M6	323,9	554,5	-230,6	26,97	12	Si
MN vs. M10	323,9	658,4	-334,4	39,12	12	Si
MN vs. M15	323,9	748,4	-424,5	49,65	12	Si

Tabla 47.H-2 Test de comparación múltiple Dunnet para poder de Hinchamiento de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	400,9	598,9	-198,0	11,75	12	Si
AN vs. A4	400,9	776,1	-375,2	22,26	12	Si
AN vs. A6	400,9	850,1	-449,2	26,65	12	Si
AN vs. A10	400,9	948,1	-547,2	32,47	12	Si
AN vs. A15	400,9	1091	-689,8	40,93	12	Si

- Test de comparación múltiple Dunnet para sólidos solubles

Tabla 48. H-3 Test de comparación múltiple Dunnet para sólidos solubles de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	Q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	226,8	356,3	-129,5	11,50	12	Si
MN vs. M4	226,8	422,3	-195,4	17,36	12	Si
MN vs. M6	226,8	470,8	-244,0	21,68	12	Si
MN vs. M10	226,8	545,6	-318,8	28,32	12	Si
MN vs. M15	226,8	614,1	-387,2	34,40	12	Si

Tabla 49.H-4 Test de comparación múltiple Dunnet para sólidos solubles de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	132,0	201,4	-69,43	18,45	12	Si
AN vs. A4	132,0	253,7	-121,7	32,34	12	Si
AN vs. A6	132,0	334,9	-202,9	53,91	12	Si
AN vs. A10	132,0	447,2	-315,2	83,74	12	Si
AN vs. A15	132,0	568,2	-436,2	115,9	12	Si

- Test de comparación múltiple Dunnet para Absorción de agua

Tabla 50.H-5 Test de comparación múltiple Dunnet para Absorción de agua de Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	240,5	352,9	-112,4	28,17	12	Si
MN vs. M4	240,5	443,5	-203,0	50,86	12	Si
MN vs. M6	240,5	512,1	-271,6	68,05	12	Si
MN vs. M10	240,5	624,3	-383,8	96,16	12	Si
MN vs. M15	240,5	756,5	-516,0	129,3	12	Si

Tabla 51. H-6 Test de comparación múltiple Dunnet para Absorción de agua de Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	262,8	420,8	-158,0	47,66	12	Si
AN vs. A4	262,8	569,8	-307,0	92,60	12	Si
AN vs. A6	262,8	711,1	-448,3	135,2	12	Si
AN vs. A10	262,8	853,7	-590,9	178,3	12	Si
AN vs. A15	262,8	1026	-762,9	230,1	12	Si

- **Test de comparación múltiple Dunnet para Sinéresis**

Tabla 52. H-7 Test de comparación múltiple Dunnet para Sinéresis para Almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	Q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	2723	2169	554,3	9,123	12	Si
MN vs. M4	2723	1399	1324	21,80	12	Si
MN vs. M6	2723	567,2	2156	35,48	12	Si
MN vs. M10	2723	292,2	2431	40,00	12	Si
MN vs. M15	2723	33,97	2689	44,25	12	Si

Tabla 53. H-8 Test de comparación múltiple Dunnet para Sinéresis para Almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	532,0	328,9	203,1	24,73	12	Si
AN vs. A4	532,0	212,8	319,2	38,87	12	Si
AN vs. A6	532,0	119,8	412,2	50,19	12	Si
AN vs. A10	532,0	57,10	474,9	57,83	12	Si
AN vs. A15	532,0	16,64	515,4	62,76	12	Si

- Test de comparación múltiple Dunnet para viscosidad

Tabla 54.H-9 Test de comparación múltiple Dunnet para viscosidad para almidones de Maíz

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	Q	DF	Significativo?
MN vs. M2,5	539007	336383	202624	60,41	12	Si
MN vs. M4	539007	271739	267268	79,68	12	Si
MN vs. M6	539007	190687	348320	103,8	12	Si
MN vs. M10	539007	130643	408364	121,7	12	Si
MN vs. M15	539007	49269	489738	146,0	12	Si

Tabla 55. H-10 Test de comparación múltiple Dunnet para viscosidad para almidones de Arracacha

Detalle del test	Media 1	Media 2	Diferencia de medias	q	DF	Significativo?
AN vs. A2,5	682362	582259	100103	27,47	12	Si
AN vs. A4	682362	501016	181346	49,77	12	Si
AN vs. A6	682362	442479	239883	65,84	12	Si
AN vs. A10	682362	380825	301537	82,76	12	Si
AN vs. A15	682362	321136	361226	99,14	12	Si

Bibliografía

1. FAO, 1998. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Departamento de agricultura y protección al consumidor, Publicado en septiembre de 1998, Revista enfoques/1998. Consultado Abril 22 de 2014 en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>.
2. Zavareze E., Guerra A. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers* 83. 2011. 317-328.
3. Allinger N. Capítulo 25 Hidratos de Carbono. En *Química Orgánica*, Segunda edición, Editorial Reverté, S.A. pp: 989-993
4. Varatharajan V., Hoover R., Q. Liu, K. Seetharaman. The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 81. 2010. 466-475.
5. Aziz A., Daik R., Ghani M., Nik N., Yamin B. Hydroxypropylation and acetylation of Sago Starch. *Malaysian Journal of Chemistry*. 2004. 6(1):48-54.
6. Palma H.; Agama E.; González R.; Bello L. Efecto del tamaño del granulo en la modificación química del almidón. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato.2010.
7. Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., Jiménez, A. propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. macho). *Agrociencia*. 2002. 36 (2):169-180.

8. Jarowenko W. Acetylated starch and miscellaneous organic esters. En *Modified Starches: Properties and Uses*. O. B. Wurzburg, ed. CRC Press: Boca Raton, 1986.FL. 55-77.
9. Parandoosh S., Hudson M. The acetylation and enzymatic degradation of starch films. *Journal of applied polymers science*. 1993. 48:787-791.
10. Tuschoff J., Smith C. *Chemical Abstract*. 1963.58:81-128.
11. Shogren R. Preparation, thermal properties and extrusion of high-amylose starch acetates of corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 1996. 29(1): 51-62.
12. Whistler R.; Daniels R. Function of polysaccharides. En: *Food Additives*. Marcel Dekker N.Y. 1990.pp: 399-406.
13. Prieto J., Trejo C., Prieto F., Méndez M., Bello L., Román A. Acetilación y caracterización del almidón de cebada, *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 2010.6 (1): 32-43.
14. Rincón A., Bou A., Aragoza L., Padilla F. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de fruto de pan (*Artocarpus altilis*). 2007. 57(3): 287-294.
15. Rivas M., Zamudio P. y Bello L. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, (2009), 8(3):291-297.

16. Shik H., Seok H., Seok C., Yong B. y Baika Y., Ultra high pressure (UHP) assisted acetylation of corn Starch, *Carbohydrate Polymers*, (2009), 78(4): 862–868.
17. Bello L. Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristic o barley starch, *LWT. Food Science and Technology*. 2010.43:1434-1440.
18. Bello L., Contreras S., Jiménez A., Paredes O. Acetylation and characterization of Banana (*Musa Paradisiaca*) Starch, *Chemistry Acta Científica Venezolana*. 2000. 51(3): 143–149.
19. Singh N., Singh N. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. 2005. *Journal of Food Engineering* 70:117–127
20. Yadav A., Mahadevamma S., Tharanathan R. y Ramteke S., Characteristics of acetylated and enzyme-modified potato and sweet potato flours, *Food Chemistry*, (2007) 103(4): 1119–1126.
21. Hui Ch., Kun X., Xiuli W., Qiang Ch., Donghua X., Chunlei S. y Wende Z. Effect of acetylation on the properties of corn starch, *Food Chemistry*, (2008), 106(3): 923–928.
22. Guerra D., Bello L., González R., Solorza J., Arámbula G. Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2008.7 (3): 283-291. Bryant, C., Hamaker, B. 1997. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry*. 74: 171-175.

23. López O.; Zaritzkya N.; García M. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity, *Journal of Food Engineering*, (2010) 100(1): 160–168.
24. Mbougoueng P., Teninb D.; Scher J; Tchiéganga C. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches, *Journal of Food Engineering*, (2012) 108(2): 320–326.
25. Fei H., Mingzhu L., Honghong G., Shaoyu L., Boli N. y Bing Z., Synthesis and characterization functional properties of low substituted acetylated corn starch, *International Journal of Biological Macromolecules*, (2012), 50(4): 1026–1034.
26. Simseka S., Ovando M., Whitneya K. y Bello L. Effect of acetylation, oxidation and annealing on physicochemical properties of bean starch, *Food Chemistry*, (2012) 134(4): 1796–1803.
27. Takeda Y., Priess J. *Carbohydrate Research*.1993. 240: 265–275.
28. Robles, L. Los excipientes y su funcionalidad en productos farmacéuticos sólidos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 2011.42 (1) pp. 18-36.
29. Díaz, M., Carreras, I. Síntesis y caracterización del almidón oxidado para su posterior evaluación como agente aglutinante en tabletas. *Revista Cubana de Farmacia*. 1999. 33(2):98-103.

-
30. Heins D., Kulicke W., Kauper P., Thielking H. Characterization of acetyl starch by means of NMR spectroscopy and SEC/MALLS in comparison with hydroxyethyl starch. 1998. *Starch-Starke*, 50(10): 431–437.
31. Boyce C. Amylases-Enzymes that hydrolyze starch. En: *Novo's Handbook of Practical Biotechnology*. Eds.: Boyce, CO. Novo Industry X'S, Denmark. 1986. pp: 70-77.
32. Eloma M., Asplundb T., Soininenc P., Laatikainenc R., Peltonend S., Hyvarinend S., Urtti A. Determination of the degree of substitution of acetylated starch by hydrolysis, ¹H NMR and TGA/IR *Carbohydrate Polymers*. 2004.57:261–267.
33. ISI 14-2e, 1999. Determination of Acetyl Content. Science Park Aarhus, Denmark: International Starch Institute.
34. Yeh A., Yeh S. Some characteristics of hydroxyl propylated and cross-linked rice starch. *Cereal chemistry*.1993. 70(5):596-601.
35. Bello L., Roger P., Baud B., Colonna P. Macromolecular features of starches determined by aqueous high performance size exclusion chromatography. *Journal of Cereal Science*. 1998. 27: 267-278.
36. Sandoval A., Rodríguez E., Fernández A. Aplicación del análisis por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Revista Dyna, Universidad Nacional de Colombia*. 2005.146. pp. 49-52.

37. Henk G., TeWierick. A new generation of starch products as excipient in pharmaceutical tablets. II. High surface area retrograded pregelatinized potato starch products in sustained-release tablets. *Journal of Controlled Release*. 1997.45:25-33.
38. Chi H., Xu K., Wu X., Chen Q., Xue D., Song C., Zhang W., Wang P. Effect of acetylation on the properties of corn starch. *Food Chemistry*. 2007.106 (3): 923-928.
39. Tehkhunmag T., Kittipongpatana N., Malisuwan S., Watanageebudtra S., Kittipongpatana O. Preparation, physicochemical and film-forming properties of Carboxymethyl Hydroxypropyl dual-modified Tapioca starches. *Journal of Natural Sciences*. 2008. 7(2):219-230.
40. Wilkins M., Wang P., Xu L., Niu Y., Tumbleson M., Rausch E. Variability in starch acetylation efficiency from commercial waxy corn hybrids. *Cereal Chemistry*. 2003. 80(1):68–71
41. Aguilar Chávez C., “Optimización del proceso de modificación del almidón de Maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de Nopal para la encapsulación de aceite esencial de Naranja empleando el secado por aspersión” Tesis de grado, Instituto de Ciencias básicas de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2007, pag: 14-22.
42. Caypo C., Pérez F. Dextrinas a partir de almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) por hidrólisis enzimática. *Pueblo Continente. Revista Oficial de la Universidad Privada Antenor Orrego*. 2007. 18(2):215-224.

-
43. Tovar B., "Caracterización morfológica y térmica del almidón de Maíz (*Zea mays*L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento" Tesis de grado, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Licenciatura en Química en Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2008, pag: 15-35.
44. Singh J., Kaur L., McCarthy O. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications- A review. *Food Hydrocolloids*.2007.21:1-22.
45. Sindhu M., Abraham T. Physico-Chemical characterization of starch ferulates of different degrees of substitution. *Food chemistry*. 2007.105: 579-589.
46. Bello L., Méndez M., Acevedo E. Almidón: definición, estructura y propiedades. En Lajolo M., Wenzel de Menezes. *Carbohidratos en Alimentos Regionales Iberoamericanos*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.2006.36-43.
47. De la rosa J., "Análisis fisicoquímico, estructural y molecular de almidones de diferentes variedades de Maíz azul" Tesis de grado, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, 2009, pag: 14-25.
48. Arias D. y Claro J., "Evaluación de cinco conservantes adicionados sobre diferentes tipos de almidones para ser empleados en procesos de restauración en el patrimonio documental" Tesis de grado, Biología Industrial, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, 2006, pag: 22-26.

49. Aulton M.E. Farmacia, la ciencia del diseño de las formas farmacéuticas. ELSEIVIER. 2 Edición. Madrid. 2004. Pág. 23-24.
50. Skoog D., Leary J. Métodos térmicos. En Skoog, L. Análisis Instrumental. McGrawHill. 1994. pp 670-672.
51. Duncan Q., Craig M., Reading M. Chapter One: Principles of Differential Scanning Calorimetry. En THERMAL Analysis of Pharmaceuticals 2007. CRC Press1: pp17.
52. Martínez N., Grau A., Chiralt A., Fito P. Termodinámica y Cinética de Sistemas. Universidad Politécnica de Valencia. 1998. pp 229-231.
53. Peñaranda O., Perilla J., Algecira N. Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. Revista Ingeniería e Investigación. 2008. 28(3):47-52.
54. Xu Y., Miladinov V., Hanna M. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution. Cereal Chemistry. 2004. 81(6): 735-740.
55. Yixiang X., Vesselin M., Milford A. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution. Cereal Chemistry. 2004. 81 (6): 735-740.
56. Marcano J. 2010, Quinta parte, Diferenciación regional en la cocina dominicana. Consultado Abril 22 de 2014, en <http://www.jmarcano.com/mipais/cultura/cocina/cocina5.html>

-
57. Araujo C., Rincón A., Padilla F. Trabajo de Investigación. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Publicación de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Volumen 54, Número 2. Unidad de Investigación de Análisis de Alimentos. 2004. Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela.
58. Rached L., Araujo C., Rincón A., Padilla F. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. Archivos Latinoamericanos De Nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 2006. 56 (4): 375-383.
59. Rodríguez G., García H., Camacho J., Arias F.; Rivera J., De la Torre F. La Harina de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), Manual Técnico para su Elaboración, CORPOICA. 2000. consultado Abril 25 de 2014 en http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Harina%20de%20arracacha.pdf, pp. 2.
60. Van Der Bij J. The analysis of starch derivatives. En: Radley, J. Examination and Analysis of Starch. Ed. Applied Science Publishers, Ltd., London, England. 1976. pp: 189-213.
61. Restrepo L., González J., De Pearson a Spearman. Rev Colom Cienc Pecua 2007.vol.20 no.2
62. Zaidul I., Yamauchi H., Takigawa C., Matsuura C., Suzuki T., Noda T. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. Food chemistry. Science Direct. 2007. 105 :164-172.

63. Carrascal J. Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2013.
64. Rodríguez D., Espitia M., Caicedo Y., Córdoba Y., Baena Y., Mora. C. Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*. 2005. 34(2): 140-146.
65. Pardo O., Aperador W. y Sanabria W. Efecto de la modificación del almidón de Arracacha y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de películas biodegradables, *Prospect*, (2012), 10(1): 37-43.
66. Fleche G. Chemical modification and degradation of starch. En: *Starch Conversion Technology*. Van Beynum, G., Roel, J. Ed. Marcel Dekker Inc., New York, 1985.pp: 73-99.
67. Singh H.; Singh N., Singh N. Structure and Functional Properties Of Acetylated Sorghum Starch, *International Journal of Food Properties*, (2012), 15(2):312–325.
68. Garnica A., Romero A., Contreras L., Cerón M., Prieto L., Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. Subespecie Andígena) para la industria de alimentos. *Revista de la Asociación Colombiana de ciencia y tecnología de alimentos*. 2010. 19, (21) 3-15.

-
69. Hevia F., Wilckens M., Berti y Badilla R. Características del almidón y contenido de proteína de quínoa (*Chenopodium quinoa* W.) cultivada bajo diferentes niveles de nitrógeno en Chillán. *Agro sur*. 2001. 20 (1): 42-50.
70. Oluwaseyi A., Tai-Hua M., Lawrence A., Fu-Ming D. Jing-Wang C. Physicochemical characterization of starches from some Nigerian and Chinese roots and tubers. *African Journal of Food Science*. 2012. Vol. 6(11), pp. 317-329.
71. Yu Y., Wang J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. *Food Research International*. 2007. Volume 40:2. Pag: 297–303.
72. Wani I., Sogi D. y Gill B., Physicochemical properties of acetylated starches from some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, (2012), 47(9): 1993–1999.
73. Suriñach S., Baro M. D., Bordas S., Clavaguera N., Clavaguera M. T. La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr*. 1992.31 I, 11-17.
74. Sánchez M.; Almanza S.; Bello L.; Méndez G.; Núñez M.; Rodríguez S.; Gutiérrez F. Acetylation of banana (*Musa paradisiaca* L.) and corn (*Zea mays* L.) starches using a microwave heating procedure and iodine as catalyst: II. Rheological and structural studies; *Carbohydrate Polymers*, (2013), 92(2):1256– 1261.
75. Barrera H., Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Copyright. ISBN-92-9060-231-7. P 101.

76. Mano J.; Koniarova D., Reis R. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blend with potential biomedical applicability. *Kluwer Academic*, (2003), 14: 127-135.
77. Olayide S. Composition, physicochemical properties and retrogradation Characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosomasa gittifolium*) starch. *FOOD CHEMISTRY* Vol 86, 2004. P 207
78. Alemán S., “Estudio de la composición físico-química, propiedades funcionales y nutricionales de almidones nativos y modificados extraídos de clones de diferentes variedades de musáceas”, Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad De Agronomía, 2012, pag: 93.
79. Das A., Singh G., Singh S., Riar S. Effect of acetylation and dual modification on physico-chemical, rheological and morphological characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) starch. Elsevier. 2010. Volume 80, Issue 3, Pages 725–732.
80. Casarrubias M.; Méndez G.; Rodríguez L.; Sánchez M.; Bello, L. Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*. 2012. 46:455-466.
81. Núñez M.; García F.; Gutiérrez F.; Sánchez; M. Bello L.. Some Intrinsic And Extrinsic Factors Of Acetylated Starches: Morphological, Physicochemical And Structural Characteristics. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, (2011), 10(3): 501-512.

-
82. Singh A., Nath L.; Guha M. Synthesis and Characterization of Highly Substituted Acetylated Moth Bean Starch, *J. Polym. Mater*, (2011),28(2): 277-285.
83. Mohsin T.; Hasnain A. Effect of emulsifiers on complexation and retrogradation characteristics of native and chemically modified White sorghum (*Sorghum bicolor*) starch, *Thermochimica*, (2013), 552: 46-53.
84. Prieto J., Rubio C., Roman A., Mendez E., Gonzalez C., Prieto F. degradación física del almidón de cebada (*Hordeum Sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y tamaño del granulo. *Noticiencias*. 2009. 9 N (2): 115-125
85. Garzón, M. Almidón retrogradado para uso en compresión directa. I. Caracterización y pregelatinización del almidón de chayote. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 2006. 36(1):18-28.
86. Milles M.J., Morris V.J., Orford P.D., Rong S.G., 1985. The roles of amylose and amylopectine in gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res*. 135, 257-269.