

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**Aplicación de almidón de fuente no convencional y
su impacto en atributos de calidad de salchichas tipo Viena**

POR

KARLA VANESSA GONZÁLEZ GÓMEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Aplicación de almidón de fuente no convencional y su impacto
en atributos de calidad de salchichas tipo Viena**

T E S I S

Presentada por

KARLA VANESSA GONZÁLEZ GÓMEZ

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

La cual fue revisada y aprobada por el Comité:

Dr. Francisco Hernández Centeno
Asesor principal

Dr. Paul Baruk Zamudio Flores
Asesor principal externo

Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña
Co-Asesor

Dra. María Hernández González
Co-Asesor

MC. Pedro Carillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2025

Manifiesto de Honestidad Académica

Yo, Karla Vanessa González Gómez, con número de matrícula 41215441, estudiante del programa Ing. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por medio de la presente:

DECLARO BAJO PROTESTA DE DECIR VERDAD

que el contenido de la presente tesis es de mi autoría original, producto de mi trabajo académico, experimental, analítico y redactado sin incurrir en plagio, falsificación de datos, manipulación indebida de resultados ni uso no acreditado de información.

Asimismo, manifiesto que:

1. Todas las fuentes consultadas han sido debidamente citadas y referenciadas conforme a las normas institucionales vigentes.
2. Los datos, resultados, tablas, imágenes y figuras presentadas son veraces, auténticos y obtenidos de forma ética durante el desarrollo del proyecto.
3. Acepto la responsabilidad total del contenido de este documento y reconozco las consecuencias académicas y legales en caso de detectarse falta a la ética profesional o académica.

Finalmente, me comprometo a mantener los principios de integridad, transparencia, honestidad científica y responsabilidad profesional, propios del quehacer universitario y de la investigación.



Karla Vanessa González Gómez

Tesista de licenciatura

DEDICATORIAS

A mi mamá, porque no existen palabras suficientes para describir todo lo que has significado en este camino. Por cada desvelo pendiente de mí, por cada abrazo que me devolvió la calma, por cada palabra que me levantó cuando necesité. Dedico esta tesis a la mujer que me enseñó a soñar, a resistir y a confiar en mí, incluso cuando sentía que ya no podía más. Mamá, este logro lleva tu nombre. Es la cosecha de tus sacrificios, tu amor incondicional y tu fe en mí. Gracias por ser mi hogar, mi refugio y mi fuerza.

A mi papá, por enseñarme que la disciplina y el trabajo honesto construyen caminos firmes. Por enseñarme a tu manera, a ser fuerte y seguir adelante. Esta meta la comparto contigo con todo mi amor.

A mi hermano, por ser mi cómplice, mi alegría y mi recordatorio de que la vida también se disfruta entre risas y compañía sincera. Gracias por los abrazos fuertes en cada bienvenida a casa.

A todas aquellas personas que me dieron todo su cariño sincero, apoyo incondicional y un abrazo cuando más lo necesite, a lo largo de este camino. Por escucharme y no dejarme caer, gracias por regalarme momentos de aire cuando necesitaba respirar y acompañarme sin condiciones.

A mi abuelito, que está en el cielo, porque, aunque su ausencia se siente, su amor sigue siendo guía. Abuelito, tus palabras y tu cariño viven en mí; ojalá este logro llegue hasta donde estas y te haga sonreír.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque en cada momento difícil sentí su fuerza sosteniéndome y su luz guiando mi camino. Gracias Señor, por darme la sabiduría, la paciencia y la serenidad necesaria para llegar hasta aquí. Por abrirme caminos, renovar mi esperanza y acompañarme incluso cuando me sentía perdida.

A mi asesor, el Dr. Francisco Hernández Centeno, por su orientación, paciencia y compromiso en todo este periodo. Gracias por compartir su conocimiento, por cada observación y consejo, y por acompañarme con disposición en cada etapa.

A mi mamá, cuya dedicación, amor y apoyo incondicional han sido el motor que me impulsa cada día. Gracias por tus palabras de aliento, por tus sacrificios, por todas las oraciones puestas en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y constancia.

A mi papá, hermano y a toda mi familia, por ser mi red de apoyo, la comprensión en mis ausencias y por motivarme a seguir adelante. Gracias por los ánimos, el cariño y por brindarme siempre un lugar lleno de amor y confianza. Cada uno de ustedes ha sido parte esencial de este camino.

A todos mis maestros, cuyo compromiso y guía, iluminaron mi camino académico. Gracias por su paciencia, su exigencia y por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí.

A todas las personas que, de alguna u otra manera, influyeron en este camino haciéndolo más ameno, mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
CONTENIDO.....	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. HIPÓTESIS.....	15
4. OBJETIVOS.....	16
4.1. General	16
4.2. Específicos.....	16
5. REVISIÓN DE LITERATURA	17
5.1. ¿Qué son los almidones?.....	17
5.2. Estructura general.....	17
5.2.1. Amilosa.....	18
5.2.2. Amilopectina	19
5.3. Importancia biológica de los almidones.....	20
5.4. Función de los almidones en la naturaleza	21
5.5. Propiedades funcionales de los almidones	21
5.5.1. Índice de solubilidad en agua (ISA)	23
5.5.2. Índice de absorción de agua (IAA).....	23
5.5.3. Poder de hinchamiento (PHi).....	24
5.5.4. Sinéresis.....	25
5.6. Uso de almidones en la industria alimentaria.....	26
5.6.1. Espesante.....	27
5.6.2. Estabilizante	28
5.6.3. Ligante.....	29
5.6.4. Otros.....	29
5.7. Uso de almidones en la industria cárnica.....	30
5.7.1. Funcionalidad del almidón en productos cárnicos	30
5.7.2. Jamones	31

5.7.3.	Salchichas	31
5.7.4.	Otros productos cárnicos	33
5.8.	Fuentes no convencionales de almidón	33
5.8.1.	Frutos	34
5.8.2.	Semillas	34
5.8.3.	Raíces y tubérculos	35
5.9.	La calabacilla como fuente no convencional de almidón.....	36
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
6.1.	Recolección de muestra.....	37
6.2.	Extracción de almidón por método húmedo	37
6.3.	Modificación química por acetilación del almidón extraído.....	39
6.4.	Determinación del grado de sustitución (GS) y % de grupos acetilo (%GA):	39
6.5.	Espectroscopia infrarroja (FTIR)	41
6.6.	Determinación de propiedades funcionales	42
6.7.	Prueba de sinéresis (Vargas G., Martínez P. y Velezmoro C., 2016)	44
6.8.	Prueba de claridad de geles de almidón	45
6.9.	Determinación de color	46
6.10.	Perfil de viscosidad a una temperatura constante	46
6.11.	Elaboración de salchichas caseras tipo Viena	47
6.12.	Análisis de Perfil de Textura (TPA)	47
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1.	Rendimiento de extracción de almidón	49
7.2.	Grado de acetilación (%GA) y Grado de Sustitución (GS)	49
7.3.	Espectroscopia infrarroja (FT-IR)	51
7.3.1.	Índice de Afinidad al Agua	52
7.3.2.	Índice de Cristalinidad Aparente (ICA).....	54
7.4.	Viscosidad.....	55
7.5.	Claridad de geles	60
7.6.	Propiedades funcionales	61
7.6.1.	Índice de Absorción de Agua	61
7.6.2.	Poder de Hinchamiento (PHi)	64
7.6.3.	Índice de Solubilidad en Agua (ISA)	66
7.6.4.	Sinéresis.....	68
7.7.	Cromaticidad	70

7.7.1. Luminosidad	71
7.8. Morfología del gránulo de almidón	73
7.9. Características generales de las salchichas elaboradas.....	77
7.10. Análisis de Perfil de Textura	78
7.10.1. Dureza	78
7.10.2. Adhesividad	79
7.10.3. Cohesividad.....	80
7.10.4. Elasticidad	81
7.10.5. Gomosidad	82
7.10.6. Masticabilidad.....	83
8. CONCLUSIONES	84
9. LITERATURA CITADA	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura helicoidal de la amilosa hidratada.	19
Figura 2. Espectros FT-IR de almidones nativos.....	51
Figura 3. Espectros FT-IR de almidones acetilados.....	52
Figura 4. Índice de Afinidad al Agua: almidones nativos y acetilados	54
Figura 5. Índice de Cristalinidad Aparente en almidones nativos y acetilados	54
Figura 6. Viscosidad en almidones nativos	56
Figura 7. Viscosidad en almidones acetilados.....	57
Figura 8. Comportamiento de almidones nativos	58
Figura 9. Comportamiento de almidones acetilados.....	59
Figura 10. Claridad de geles en almidones nativos y modificados durante el almacenamiento.....	60
Figura 11. Comportamiento del IAA en almidones nativos.....	62
Figura 12. Comportamiento del IAA en almidones acetilados	63
Figura 13. Comportamiento del Poder de Hinchamiento en almidones nativos	65
Figura 14. Comportamiento en el Poder de Hinchamiento en almidones acetilados....	66
Figura 15. Comportamiento en el Índice de Solubilidad en Agua en almidones nativos	67
Figura 16. Comportamiento del Índice de Solubilidad en Agua de almidones acetilados	67
Figura 17. Comportamiento de sinéresis en almidones nativos y acetilados a las 240h de almacenamiento a 4°C.....	69
Figura 18. Coordenadas de cromaticidad (a* y b*).....	70
Figura 19. Luminosidad (L*) de almidones nativos y modificados.....	72

Figura 20. Microscopía de luz transmitida(MLT) y de luz polarizada (MLP) a 200x de almidón de raíz de calabacilla	74
Figura 21. Microscopía de luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) A 200x de almidón de maíz	75
Figura 22. Microscopía de luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) A 200x de almidón de papa.....	76
Figura 23. Salchichas elaboradas bajo diferentes formulaciones con almidones nativos y acetilados de maíz, papa y raíz de calabacilla.	77
Figura 24. Nivel de dureza en almidones	79
Figura 25. Nivel de adhesividad en almidones	80
Figura 26. Nivel de cohesividad en almidones	81
Figura 27. Nivel de elasticidad en almidones	82
Figura 28. Nivel de gomosidad en almidones.....	83
Figura 29. Nivel de masticabilidad en almidones.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de amilosa y amilopectina en fuentes convencionales de almidón (Hernández-Medina y Torruco, 2008).	18
Tabla 2. Propiedades funcionales de almidón	43
Tabla 3. Registro para la prueba de sinéresis hasta las 240 h.	45
Tabla 4. Grado de acetilación y sustitución de almidones modificados.	49

RESUMEN

El almidón es un polisacárido ampliamente utilizado en la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales como espesante, estabilizante y gelificante. Sin embargo, la alta demanda de almidones convencionales ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas. En este estudio se evaluó el almidón extraído de raíz de *Cucurbita foetidissima* Kunth (calabacilla loca), en su forma nativa y modificada químicamente por acetilación comparándolo con almidones comerciales de maíz y papa. Se determinaron propiedades estructurales (FTIR, índice de cristalinidad), funcionales (absorción de agua, poder de hinchamiento, claridad de geles, solubilidad, sinéresis) y morfológicas (microscopía). Además, se evaluó su desempeño tecnológico como ligante en la elaboración de salchichas tipo Viena.

Los almidones acetilados mostraron una mayor afinidad por el agua, mientras que los nativos presentaron mayor retrogradación y sinéresis. El almidón acetilado de calabacilla exhibió propiedades intermedias entre maíz y papa, destacándose por su buena claridad de geles, baja sinéresis y comportamiento reológico adecuado. En la matriz cárnica, el análisis de perfil de textura (TPA) reveló que el almidón acetilado de maíz generó texturas más firmes y estables, mientras que el almidón de calabacilla aportó mayor suavidad. No obstante, el almidón de calabacilla se posicionó en valores intermedios, demostrando una similitud entre las características y propiedades del almidón de papa y maíz, confirmando que el almidón de calabacilla especialmente en su forma acetilada representa una alternativa funcional frente a almidones convencionales, con potencial en su aplicación en productos cárnicos, como salchichas tipo Viena.

1. INTRODUCCIÓN

El almidón es un polisacárido de reserva de las plantas, encontrándose de manera abundante en semillas, legumbres, raíces y tubérculos. Estructuralmente el almidón está compuesto por dos polímeros: amilosa y amilopectina, en menor y mayor proporción, respectivamente; disponiéndose en forma de gránulos, con formas y tamaños diferentes según la fuente botánica (Alfaro, 2020).

Dentro de la industria alimentaria, el almidón es un ingrediente con gran importancia por las propiedades funcionales que posee, permitiéndole actuar como estabilizante, espesante, gelificante, aglutinante, principalmente; tanto en su estado nativo, como también modificado (Chakraborty et al., 2022).

El maíz (*Zea mays*) es la fuente principal de almidón destinada para la industria alimentaria, seguido por el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), arroz (*Oryza sativa*) y trigo (*Triticum spp*), no solo en México, sino también a nivel mundial (Torres, 2014).

La alta demanda de estas fuentes principales de almidón radica en su uso destinado a la producción de diversos productos no solo en la industria almidonera sino también en el consumo pecuario, humano, autoconsumo y exportaciones (SAGARPA, s/f). Por ello, es necesario buscar nuevas alternativas para la obtención de almidón que ofrezcan propiedades similares a las de los almidones convencionales.

Diversas investigaciones han sugerido la incorporación de nuevas fuentes para la obtención de dicho recurso dentro de la industria alimentaria (Torres, Montero & Julio, 2014); la raíz de calabacilla se presenta como una alternativa por su alto contenido de

almidón con propiedades comparables, pudiendo sustituir o complementar a los que ya se comercializan.

En la industria cárnica, específicamente en la elaboración de salchichas, el almidón se emplea por su poder estabilizante, emulgente, gelificante y espesante, influyendo en la textura final del producto, lo que determina la selección y aceptación del consumidor (Romero, 2017).

En esta investigación se buscó analizar las propiedades del almidón de raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth) y el impacto sobre la textura final en salchichas tipo Viena en su estado nativo y modificado químicamente (acetilación) comparándolo con almidones convencionales de maíz y papa.

2. JUSTIFICACIÓN

La industria alimentaria demanda almidones versátiles en su aspecto funcional como agentes espesantes, gelificante, estabilizantes y aglutinantes para la formulación de productos con textura, firmeza y buena retención de agua y grasa. En particular, el mercado de almidón nativo a nivel mundial llegó a 97.7 millones de toneladas en 2024, y donde se estima que para el 2033 aumente a más de 112 millones de toneladas (Cuevas et al., 2024).

Según la FAO, que habla sobre las fuentes tradicionales que dominan la demanda de almidón (maíz, papa, trigo, principalmente), menciona que el maíz representa casi el 73% del almidón en el mercado. Estos datos demuestran la alta demanda de almidones y su continuo crecimiento, lo que surge la necesidad de estudiar y diversificar las fuentes de almidón para responder a la demanda funcional y tecnológica, y en lo posible, aprovechar cultivos que están adaptados al entorno local.

En México, particularmente en los estados del norte y centro donde crece la calabacilla locca (*C. foetidissima* Kunth), esta se presenta como una alternativa interesante, siendo una planta adaptada a regiones áridas o semiáridas, poco explotada comercialmente y con reportes de contenido de almidón en la raíz, que van entre 47 y 52% en base seca. Además, estudios recientes lograron caracterizar sus propiedades funcionales siendo comparables a las de almidones convencionales (Amador, 2018).

Para la industria cárnica, en la elaboración de salchichas tipo Viena, donde el almidón juega un papel importante sobre la textura, estabilidad, retención de agua y grasa, y la aceptación del consumidor, la incorporación de una nueva alternativa como lo es el almidón de raíz de calabacilla locca puede disponer de ventajas reales.

3. HIPÓTESIS

H₀: El almidón de fuente no convencional modifica los atributos de calidad de las salchichas tipo Viena.

H_a: El almidón de fuente no convencional tiene impacto nulo en los atributos de calidad de las salchichas tipo Viena.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Emplear almidón de fuente no convencional como una alternativa al almidón comercial utilizado como ligante en una matriz alimentaria cárnica cocida: salchicha tipo Viena.

4.2. Específicos

4.2.1. Obtener almidón nativo de fuente no convencional: raíces de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth).

4.2.2. Modificar por el método de acetilación el almidón nativo obtenido.

4.2.3. Realizar análisis de propiedades funcionales del almidón. Índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y Poder de hinchamiento (PHi) y sinéresis.

4.2.4. Elaborar salchichas tipo Viena utilizando como ligante: almidón comercial (almidón de maíz), almidón nativo y almidón acetilado.

4.2.5. Realizar análisis fisicoquímicos a las salchichas elaboradas: % Humedad, diferencia de peso, color, microestructura, perfil de textura y análisis sensorial.

4.2.6. Analizar los resultados obtenidos.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. ¿Qué son los almidones?

En palabras de Romero et al. (2016), los almidones son polisacáridos o carbohidratos complejos alimentarios más abundantes, provenientes de distintas fuentes vegetales. Se encuentran en los distintos órganos de la planta, esto incluye las semillas, frutos, tubérculos y raíces. Sus características morfológicas se basan en la fuente botánica proveniente. Constituyen en gran medida la obtención de energía diaria necesaria en nuestra dieta y se caracterizan por carecer de un sabor dulce, niveles significativos de insolubilidad en agua fría y formación de geles en condiciones de temperaturas altas.

5.2. Estructura general

Estructuralmente, el almidón es un homopolisacárido compuesto por cadenas de amilosa y amilopectina (Ríos-Romero et al., 2016), formando una mezcla en su estructura de aproximadamente un 20% de amilosa y el 80% de amilopectina. El almidón cumple la función de ser la reserva de energía en las plantas.

En la naturaleza, el almidón suele presentar diferencias respecto a otro tipo de carbohidratos; una de ellas es la forma en la que se presenta, en gránulo, que son estructuras organizadas con distinta forma, composición y tamaño dependiendo de la fuente vegetal de obtención, pero fácil de diferenciar con ayuda de un microscopio. En algunos cereales se pueden encontrar gránulos sencillos, en cambio en otros suelen aparecer gránulos compuestos o tener ambos, un ejemplo de ello es la avena.

De acuerdo a Bajaj (2018), nos dice que, tratándose de cualquier fuente vegetal de obtención, el tamaño de gránulo puede variar más de $1\mu\text{m}$ o menos que $100\mu\text{m}$, también, les designó los siguientes nombres de acuerdo al tamaño de partícula: largo ($>25\mu\text{m}$), medio ($10-25\mu\text{m}$), pequeño ($5-10\mu\text{m}$) y muy pequeños ($<5\mu\text{m}$).

Tabla 1. Contenido de amilosa y amilopectina en fuentes convencionales de almidón (Hernández-Medina y Torruco, 2008).

Fuente de almidón	% de amilosa	% de amilopectina
Maíz	25	75
Arroz	19	81
Papa	20	80

5.2.1. Amilosa

En palabras de Sayra E. (2021) “La amilosa es un polímero lineal que contiene un 99% de enlaces $\alpha-1,4$ y un 1% de $\alpha-1,6$, suelen tener pocas o nulas ramificaciones y de forma helicoidal; en cambio, la amilopectina es un polímero con alto nivel de ramificación, y que contiene 95% de enlaces $\alpha-1,4$ y 5% de $\alpha-1,6$ ”.

No se sabe con exactitud la localización de la amilosa en la estructura del gránulo, pero si se sabe que es el polímero que aporta firmeza e influye también en la formación de geles estables.

Se sabe que la amilosa se sintetiza por medio de la acción catalítica de la isoforma de almidón sintasa, que está unida al gránulo (GBSS), pues mutantes que carecen de GBSS

en maíz, arroz, trigo, papa, sorgo, amaranto, cebada y chícharo, sintetizan gránulos de almidón sin amilosa (Hsieh, 2019).

La amilosa al no tener ramificaciones, es más sencilla su estructura que la amilopectina, y es más fácil de disolver en agua porque forma cadenas más cortas de monómeros de glucosa, que van de cientos a miles de estos. Cambia su estructura cuando se disuelve en agua, cambiando a una forma helicoidal, teniendo en cada vuelta de la hélice, 6 unidades de glucosa, como se muestra en la Figura 1. Esto justifica la coloración azul – violeta intenso que se torna en la reacción con yodo; el yodo se deposita en el centro de la estructura helicoidal y se torna en diferentes intensidades dependiendo de la especie botánica que se trate.

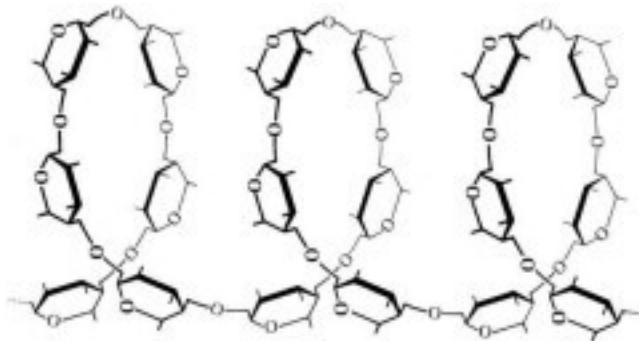


Figura 1. Estructura helicoidal de la amilosa hidratada.

5.2.2. Amilopectina

Como señala León-Méndez (2020), la amilopectina además de ser el mayor componente del almidón, se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa;

es por ello que, la amilopectina presenta mayor peso molecular comparado con la amilosa. Su estructura ramificada hace que su viscosidad y elasticidad sea mayor.

Las ramificaciones que tiene la amilopectina hace que formen polisacáridos mucho más grandes que la amilosa, llegando a ser de miles a cientos de miles de monómeros de glucosa unidos entre sí por enlace glucosídico; esto la hace más difícil de disolver en agua. Al presentar una estructura más ramificada la hace ser más accesible para las enzimas y, por ende, es más fácil el rompimiento de sus enlaces, por lo que se degrada de manera más rápida que la amilosa que es de cadena lineal y forma enlaces más fuertes (Ríos R., et al., 2016).

5.3. Importancia biológica de los almidones

El almidón es uno de los componentes esenciales en la dieta humana, se trata de una fuente primaria de energía. Su importancia biológica trasciende en la provisión de las calorías diarias requeridas, también así desempeñando roles fundamentales en la función metabólica y la salud intestinal. El almidón constituye en gran medida los requerimientos de calorías, aportando del 70 a 80% del total del consumo diario (Villarreal & Pía., 2018). Podemos encontrar el almidón en cereales, vegetales, alimentos elaborados como el pan y alimentos que se les ha agregado almidones modificados. Cabe destacar que el aporte de almidón va de acuerdo con la fuente alimenticia y a importantes características como su nivel de maduración; hablando de fuentes vegetales, en donde su composición se encuentra el almidón y azúcares en su forma simple, en un estado de inmadurez habrá más almidón que azúcares que en un estado de madurez más avanzado.

Como señala Thalmann (2016), “En el almidón se encuentran unidos miles de moléculas de glucosa. Así, al no estar disueltas en el citoplasma, no influyen en la presión osmótica interna y constituyen una gran reserva energética que ocupa poco volumen”.

Existe también el conocido como almidón resistente, que es aquella parte del almidón que no logra digerirse en el intestino, y ha tomado interés por las propiedades que este presenta. Esta parte del almidón fermenta en el colon, produciendo ácidos grasos de cadena corta que promueven la salud intestinal y pueden mejorar la homeostasis de la glucosa y los lípidos en el cuerpo (Huang & Liu, 2023). Además, el almidón resistente ha mostrado potencial en la prevención y tratamiento de trastornos metabólicos, como la obesidad y la diabetes tipo 2 (Das & Ghosh, 2025).

5.4. Función de los almidones en la naturaleza

El almidón es un polisacárido fundamental en el reino vegetal, desempeñando roles esenciales en la fisiología de las plantas y los ecosistemas. Su función principal es actuar como reserva energética, almacenando glucosa en forma de almidón en órganos como raíces, tubérculos y semillas. Esta reserva, permite a las plantas sobrevivir durante periodos de escasez de luz o nutrientes, facilitando su crecimiento y reproducción (Rangel de la Torre, 2012).

5.5. Propiedades funcionales de los almidones

Delgado Y. (2018) menciona que, los almidones nativos tienen dos propiedades muy importantes, la retención del agua y la retrogradación; donde su empleo en la Industria Alimentaria en cuanto a la retención de agua, han sido muy utilizados estos almidones para la reducción de costos, pero en consumidores más exigentes ha sido mejor alternativa la utilización de almidones modificados, teniendo como desventaja que son

más caros que los almidones nativos. Aquellos almidones que se modifican, es con el fin de ser empleados en procesos donde hay condiciones más exigentes, como temperaturas más altas, pH, acidez, etc.

Las diferencias entre las propiedades funcionales del almidón se dan principalmente por el tamaño del gránulo y el contenido de amilosa y amilopectina, por ende, existen variaciones en las propiedades del almidón de cada fuente vegetal de obtención. Además de ello, se pueden mejorar sus propiedades funcionales empleando algún tipo de modificación de la estructura del almidón, ya sea física o química. Siendo más específico, en la modificación química por acetilación, donde existe un rompimiento de la estructura del gránulo del almidón y se busca la sustitución de los grupos $-OH$ o hidroxilo por grupos $-CH_3COO$ o acetilo, e intervienen una serie de factores como la temperatura, el reactivo utilizado, tiempo de reacción, entre otras (Vargas, 2016); como menciona Martínez (2019), esta modificación altera sus propiedades de solubilidad, capacidad de hinchamiento, viscosidad, la disminución de la cristalinidad del gel formado, bajando su temperatura de gelatinización y disminuyendo también la retrogradación o el reacomodo de la estructura del almidón durante su almacenamiento, lo que influye directamente en la textura de los productos; mejorando los resultados en las aplicaciones alimentarias deseadas.

La Administración de Drogas y Alimentos (FDA) aprueba para su aplicación en diferentes matrices alimentarias que los almidones acetilados tengan un GS entre 0.01-0.2 conteniendo en su estructura alrededor de un 2.5% de grupos acetilo. Salcedo (2016) señala que aquel almidón que ha sido acetilado con un GS mayor a lo permitido por la FDA para alimentos, toman otras aplicaciones no alimentarias como en la industria textil, del papel, cosmetología, productos farmacéuticos, entre otros.

5.5.1. Índice de solubilidad en agua (ISA)

El índice de solubilidad en agua que presenta el almidón corresponde a la fracción de moléculas de amilosa y amilopectina que se pueden disolver desde los gránulos hasta un medio acuoso al aplicar calor. Este comportamiento está fuertemente influido por la composición de amilosa-amilopectina, la presencia de complejos lipídicos y el origen botánico del almidón (Romero, 2024).

Quettier (2010) nos menciona que, normalmente, los diferentes gránulos de almidón son insolubles en agua fría, presentando menos de 5% de compuestos solubles en agua desmineralizada a una temperatura promedio de 20°C.

Alcázar y Almeida (2015), destacan en su investigación que la amilosa interviene en la resistencia que presentan inicialmente los gránulos del almidón frente a dos propiedades: el poder de hinchamiento y la solubilidad en agua; estas dos propiedades van de la mano, el hinchamiento que sufren los gránulos se da después de la lixiviación de las moléculas de amilosa, pero la amilosa tiene la capacidad de formar complejos lipídicos en aquellos almidones de cereales que tienen en su estructura fosfolípidos y ácidos libres, esto a su vez, hace que se forme un núcleo hidrofóbico dentro de la estructura helicoidal de la amilosa, y aunque son fracciones muy pequeñas de complejos lipídicos impide la lixiviación de la amilosa y por siguiente, la capacidad de hinchamiento.

La solubilidad en agua se ve limitada en proporción al contenido de amilosa del almidón.

5.5.2. Índice de absorción de agua (IAA)

El índice de Absorción de Agua es una propiedad del almidón que prácticamente expresa la cantidad de agua que este puede retener o absorber estando en presencia de agua y

teniendo cierta temperatura. Este parámetro resulta ser muy importante para conocer cómo se comportan diferentes almidones, la calidad de estos para la hora de ser utilizados en la industria alimentaria.

La absorción de agua en el almidón ocurre por la formación de enlaces de hidrógeno donde, el almidón en presencia de agua en calentamiento ocurre un rompimiento de manera parcial en las zonas cristalinas que posee la estructura y permite la entrada a las zonas amorfas del almidón donde se unen las moléculas de agua. Estos enlaces se dan por la presencia de los grupos –OH o hidroxilo que están presentes en la estructura del almidón. Con ello trae un hinchamiento de los gránulos, donde estos aumentan su tamaño por la cantidad de agua que van reteniendo (Grajeda, Márquez et al., 2021).

Salcedo (2016) menciona que, la absorción de agua en almidones modificados aumenta, en especial en tratamientos como la acetilación; esta modificación introduce en la estructura del almidón grupos funcionales que cambian la afinidad por el agua y alteran la estructura granular.

Un mayor IAA puede favorecer el uso de almidones nativos o modificados (según las necesidades) como estabilizante o espesante en alimentos que lo requieren.

5.5.3. Poder de hinchamiento (PHi)

El poder de hinchamiento en el almidón hace referencia a la cantidad de agua que retienen los gránulos en presencia de agua caliente, donde se observa la capacidad que tienen de hincharse hasta antes de que estos comiencen a liberar solutos.

Los almidones nativos, donde su estructura se presenta en condiciones normales, al disolverse en agua fría, los gránulos de almidón se comienzan a hinchar por la absorción de agua que van tomando, pero, cabe aclarar, que esta propiedad se ve limitada por las condiciones de temperatura principalmente. En cambio, a temperatura ambiente o superiores, el hinchamiento que presentan los gránulos es mayor, es lo que menciona Delgado Y. (2018) en su investigación. Entonces, teniendo condiciones nativas de almidón, el poder de hinchamiento aumenta con la temperatura, el calor hace que el agua entre y los gránulos comiencen a hincharse; pero además de la temperatura, el poder de hinchamiento también va de acuerdo con la relación de amilosa-amilopectina (el poder de hinchamiento aumenta si hay mayor amilopectina), al tamaño y a la estructura granular del almidón que se trate (Subroto, Cahyana et al., 2023).

El poder de hinchamiento en almidones acetilados aumenta, pues la modificación del almidón afecta en las características de su estructura. Al sustituir los grupos hidroxilo por grupos acetilo, hace que se debilite la zona cristalina; así como también hace más amplio el espacio interno del gránulo, lo que hace que penetre fácilmente las moléculas de agua; También influye en la formación de geles, siendo más rápida, por lo que se necesita menos energía para procesos donde lo requieran (Ačkar, 2015).

5.5.4. Sinéresis

La sinéresis resulta del fenómeno de la retrogradación del almidón, donde posterior a la gelatinización del almidón donde hay un desordenamiento de la estructura del almidón, se producen nuevas ligaduras al reordenarse la estructura por el efecto del enfriamiento del gel. Al reordenarse la estructura del almidón, se compactan y se liberan moléculas de agua; esto es la sinéresis, el líquido que se libera del gel formado.

Los almidones modificados presentan un mejor comportamiento (más estable) al proceso de congelación-descongelación, dado que al modificar la estructura del almidón específicamente hablando en este caso de la acetilación, hay una alteración entre los enlaces de los componentes (amilosa-amilopectina) lo que no permite un reordenamiento igual que en almidones nativos y, por ende, hay una menor liberación de agua en la formación de gel durante el periodo de almacenamiento o el empleo de procesos cíclicos de congelación y descongelación (Bello L, 2002).

5.6. Uso de almidones en la industria alimentaria

En la investigación que realizó Torres-Rapelo (2014) menciona que, el almidón es el carbohidrato más importante dentro de la industria alimentaria por el hecho de cubrir de 70 a 80% de las calorías necesarias de los consumidores.

Las propiedades funcionales de los almidones nativos han hecho que la industria alimentaria se sienta interesada para utilizar en la elaboración de alimentos, con el fin de obtener productos con características que permitan alongar la vida útil, manteniendo las características que desea el consumidor, así como también reducir los costos de elaboración (Delgado Y, 2018).

Como menciona Olagunju, A. et al. (2020), el almidón es un ingrediente que al ser aplicado en el procesamiento de distintos alimentos favorece significativamente la calidad del producto final, teniendo un impacto directo en la textura, por las propiedades funcionales que tiene el almidón de actuar como espesante, gelatinizante, encapsulante y estabilizante, principalmente.

Se limita el uso del almidón nativo debido a que suele ser muy susceptible a alteraciones por las condiciones de procesamiento y a sus propiedades funcionales. Sin embargo,

se pueden minimizar dichas alteraciones con la modificación del almidón, ya sea que se trate de una modificación física, química (oxidación o acetilación) o enzimática; lo que permite mejorar las propiedades funcionales del almidón (Ríos, Ochoa & Morales, 2016).

En la industria alimentaria, utilizando almidones nativos o modificados, cae en la finalidad de mejorar la calidad sensorial de los productos, para así aumentar su aceptación del consumidor, manteniendo la apariencia deseada, así como también para evitar pérdidas económicas para la industria por el rechazo del producto; resaltando que, esto va a depender de las características del almidón que se utilice en el proceso (fuente vegetal, tratamiento, grado de modificación, cantidad, etc.), como lo mencionan Trejo, Rodríguez et al. (2024).

5.6.1. Espesante

El uso de almidón como espesante es significativo, ya que se trata de una mejor alternativa, en relación con el aspecto económico, siendo más costeable que otros productos espesantes como las gomas.

Como menciona Chakraborty et al. (2022), esta propiedad va de la mano con el Índice de Solubilidad en Agua; cuando el almidón se somete al proceso de gelatinización (presencia de calor en un medio acuoso), donde los gránulos del almidón absorben el agua, proceden a hincharse y hace que la organización de su estructura se pierda, dejando que las cadenas estén dispersas en el medio; esto es lo que logra aumento en la viscosidad o espesamiento. Al enfriarse la solución, la estructura del almidón tiende a regresar a su organización principal, lo cual no se logra al 100% pero si hay un reordenamiento parcial (retrogradar), particularmente de las cadenas de amilosa, por lo

que la viscosidad reduce y ocurre el fenómeno de sinéresis o pérdida de agua (Olagunju et al. 2020).

Uno de los aspectos que influyen en el poder de espesamiento es la presencia de uniones intermoleculares entre cadenas vecinas y la estructura de regiones cristalinas (estructuras más ordenadas).

Como menciona Subroto et al. (2023), la afinidad del almidón acetilado por el agua le confiere un alto potencial para su aplicación como agente espesante, debido a que al agregar grupos acetilo, siendo más voluminosos que los grupos hidroxilo, permite que haya mayor apertura entre las cadenas de la estructura y, por ende, hay mayor “espacio” para la expansión del gránulo al estar en presencia de agua. Además, se ve beneficiada la absorción de agua en las zonas amorfas del gránulo; se ve debilitada o dañada la cohesión de las cadenas. Y también minimiza la temperatura de gelatinización, pues se requiere menos energía para desordenar la estructura que ya sufrió un “daño” por la acetilación (Chakraborty et al., 2022).

5.6.2. Estabilizante

En ideas de Kahraman & Korkut (2024), el almidón presenta otra aplicación, la de poder estabilizar emulsiones, esto durante procesos aplicados como congelación-descongelación, calentamiento o, ya en almacenamiento; principalmente cuando se trata de almidones con gránulos de menor tamaño, siendo de las pocas sustancias naturales con esta propiedad de poder absorberse en las diferentes interfaces, y lograr la estabilidad. Almidones acetilados aumentan la estabilidad de las suspensiones formadas presentando una liberación menor de moléculas de agua (sinéresis).

5.6.3. Ligante

Cuando se habla del poder ligante del almidón, se trata de la capacidad que tiene para unir distintos componentes en diferente estado de organización, para así formar estructuras cohesivas utilizadas en la industria alimentaria. Tal como indica Mason (2009), los gránulos del almidón cuando pasan por el proceso de gelatinización (al elevar la temperatura de la suspensión del almidón para que los gránulos comiencen a hincharse por la absorción de agua, hasta que llega un momento que se rompe su estructura liberándose las moléculas de amilosa y amilopectina), hay una formación de una pasta viscosa y pegajosa que es la que permite retener agua y generar una red que une todos los componentes.

Como agente ligante, especialmente en forma de grado alimenticio, el almidón acetilado mejora la cohesión y resistencia estructural bajo compresión favoreciendo la formación de productos cohesionados. Estas mejoras se dan de acuerdo con el Grado de Sustitución (DS) que indica el número promedio de grupos (-OH) han sido remplazados por grupos acetilo, y dependiendo del producto y característica deseada, se busca el DS adecuado según lo requerido (Dev Kumar, 2015).

5.6.4. Otros

En la industria alimentaria, además de usarse el almidón como ligante, espesante y estabilizante, también tiene otras aplicaciones con gran importancia en la industria.

De acuerdo con Cuevas, Rodríguez et al., (2024), uno de ellos es el recubrimiento y conservación de alimentos debido a la capacidad que tiene en la formación de películas, además de su disponibilidad y bajo costo a comparación de otros materiales, utilizándose principalmente como recubrimientos comestibles en frutas y verduras.

También se utiliza para crear materiales plásticos sostenibles, combinándolo con plastificantes como el glicerol o quitina, y así tener películas que ayuden a mantener las propiedades fisicoquímicas y, actuar también de manera antimicrobiana en ciertos alimentos.

Syan, Kaur et al. (2022), destacan que el almidón puede actuar también como un sustituto de grasa en productos alimenticios como yogures, mayonesa, helados, postres congelados, y demás, dando características de textura similares a la grasa como cremosidad y lubricidad, además de disminuir el aporte calórico, sin poner en riesgo el cambio de sabor.

5.7. Uso de almidones en la industria cárnica

En la industria cárnica, el uso de almidón nativo se emplea con el fin de actuar en los productos como ligante y en la retención de humedad, principalmente. Aunque es real que comúnmente la industria alimentaria busca abaratar costos, por lo que emplean almidones nativos que suelen ser más accesibles; sin embargo, con los almidones modificados existe esa nueva alternativa de lo que se conoce ahora como un aditivo funcional, buscando mejorar las características de los productos cárnicos.

5.7.1. Funcionalidad del almidón en productos cárnicos

El almidón, ha sido utilizado desde hace mucho tiempo en embutidos y diferentes productos cárnicos, como una alternativa económica de preservar la carne por un periodo de tiempo más alargado al compararlo con la carne fresca. Se utiliza principalmente para

mejorar la textura, espesante y su poder gelificante; además, interfiere como un simulador de las propiedades que da la grasa en los productos directamente en la textura (Bombón-Tonato, 2025).

5.7.2. Jamones

En la elaboración de jamones, se utilizan distintos ingredientes con fines tecnológicos y también de mejorar aspectos sensoriales u organolépticos.

El almidón es uno de esos ingredientes que se utilizan en la elaboración de jamones como aditivo, buscando principalmente mejorar la retención de agua en el producto; este efecto en los jamones es debido al poder de gelificación que tienen los almidones al aplicar calor, cambiando su estructura original a una tridimensional, que es la que permite retener cantidades considerables de agua dentro de ella. Sin embargo, los almidones tradicionales sin modificación (nativos) son frágiles a temperaturas elevadas y también, presentan el fenómeno de retrogradación; por ello, se ha implementado el uso de almidones modificados, cambiando su estructura original para mejorar aquellas propiedades físicas, químicas y funcionales que el almidón ya por sí solo posee, haciendo así al almidón modificado un aditivo más resistente frente a condiciones más exigentes para la obtención de productos estables, minimizando también el fenómeno de retrogradación (Barrera, 2018).

5.7.3. Salchichas

Según lo expuesto por Chen, Hu et al., (2024), las salchichas se clasifican como emulsiones cárnicas, en las cuales las proteínas miofibrilares se solubilizan en presencia

de sal y actual como agentes emulsificantes, rodeando y estabilizando las gotas de grasa dentro de una matriz proteica continua. Para reforzar esta estructura y asegurar la estabilidad del sistema, se añaden ingredientes funcionales como almidones, que desempeñan un papel muy importante en la retención de agua, la consistencia del producto y la prevención de la separación de fases durante el procesamiento térmico (Álvarez, Castillo et al., (2007).

En particular, el almidón cumple con múltiples funciones tecnológicas dentro de las salchichas:

- Favorece la retención de humedad, lo que contribuye a mantener la jugosidad del producto tras la cocción.
- Mejora la textura, proporcionando mayor firmeza y unión de los ingredientes de la formulación, especialmente cuando son salchichas con bajo contenido de grasa o proteína.
- Aumenta el rendimiento del producto final, al permitir una mayor incorporación de agua sin comprometer la aceptabilidad sensorial.
- Actúa como estabilizante, reforzando la matriz proteica que rodea las gotas de grasa y ayudando a mantener la emulsión uniforme.
- Puede funcionar como sustituto parcial de grasa, siendo útil en el desarrollo de salchichas reducidas en calorías o versiones tipo “light”.

La utilización de almidones modificados en la elaboración de productos cárnicos como salchichas, contribuye significativamente a mejorar la textura del producto final, otorgándole características más jugosas y homogéneas. Además, este tipo de almidón presenta una mejor incorporación durante el proceso térmico, lo que favorece una

formación más efectiva del gel estructural. Asimismo, su aplicación mejora la estabilidad estructural del producto durante su almacenamiento, especialmente cuando se somete a condiciones de refrigeración o congelación, disminuyendo el fenómeno de retrogradación (Chen, Hu et al., 2024).

5.7.4. Otros productos cárnicos

El almidón tiene diferentes aplicaciones además de utilizarse en la elaboración de jamón y salchichas, por su poder rehidratante, formador de emulsiones, geles y mejorar la textura. Estos efectos en los productos cárnicos, se deben a que, las cadenas hidrofóbicas del almidón interrelacionan con la grasa y aquellas cadenas que son hidrofílicas absorben el agua, formando una matriz cárnica estable y con mejores atributos sensoriales (Chen, Hu et al., 2024).

Principalmente, se emplea almidón de maíz, papa, arroz y tapioca, en su estado nativo o acetilado para potencializar sus propiedades funcionales, haciéndolos resistentes a la retrogradación, a condiciones de calor y pH más agresivos.

En productos como carne picada o para hamburguesas, se utiliza principalmente para minimizar pérdidas de peso durante el proceso de descongelación, puesto que estos productos, en mayor importancia, la carne para hamburguesa se mantiene mayormente en congelación para prolongar su vida útil. También se utiliza en Nuggets, filetes o paté, con el fin aglutinar y estabilizar las estructuras de grasa y agua, y así conseguir firmeza en el producto (Mohamad et al., 2018).

5.8. Fuentes no convencionales de almidón

La industria alimentaria ha comercializado almidones nativos o tradicionales: maíz, arroz, papa, trigo y yuca; sin embargo, se han ido estudiando con el paso del tiempo distintas fuentes vegetales de obtención, provenientes de distintos frutos, cereales o semillas, raíces y tubérculos con alto valor nutricional, donde se han reportado importantes resultados de investigación.

5.8.1. Frutos

Bo Li, Zhang et al (2021), hablan en su investigación acerca de la lúcuma, fruto que se da en las regiones subtropicales, originaria de Perú, cultivado también en el sur de México, característico por su sabor dulce. Contiene buena proporción de almidón, aunque es menor su contenido en la pulpa comparado con su semilla. Ideal para la industria alimentaria.

Según Marta H., Cahyana Y. et al. (2022), el plátano contiene un porcentaje muy elevado de almidón en su etapa verde madura, conteniendo hasta un 80% de almidón en base seca, haciéndolo una excelente fuente no convencional de almidón. Los gránulos del plátano usualmente son irregulares, apareciendo de forma alargada y redonda, y su tamaño depende de la variedad y su nivel de maduración. Es un fruto con gran potencial en la industria alimentaria, pudiéndose utilizar en alimentos especiales para personas con diabetes por su contenido de almidón resistente.

5.8.2. Semillas

Magallanes, Duque & Martínez (2023), nos mencionan en su investigación que cuando se trata de semillas, se obtiene un porcentaje significativo de almidón, que va alrededor

de 60-70% sin embargo muchas de estas fuentes no son tratadas con importancia, y terminan siendo desechadas. Se encontró almidón de gran valor, con propiedades importantes en semillas que son un poco utilizadas como sorgo, quinua, mango, aguacate, lúcuma, ramón y otras semillas más, siendo estas semillas una alternativa sostenible de almidón para su aplicación en diferentes matrices alimentarias por sus propiedades de resistencia térmica, estabilidad y presencia de almidón resistente.

5.8.3. Raíces y tubérculos

Torres-Rapelo (2014), nos menciona que, la obtención de los almidones provenientes de raíces y tubérculos suele ser más fácil en comparación de almidones que se obtienen a partir de granos o cereales, debido a que estos últimos suelen necesitar procesos de extracción más complejos.

La malanga o también conocido como Taro (*Colocasia esculenta L.*), es un tubérculo proveniente de Asia, que contiene una pulpa con alto valor de almidón, cerca de 80% en base seca, proteína y fibra; este tubérculo ha estado bajo investigación en Colombia, para su uso en salchichas sin interferir en la aceptación del consumidor por cambios en el sabor.

Tacca leontopetaloides L. es un tubérculo que se distribuye en África, Australia y en el sureste asiático. Tiene alto contenido de almidón (83-89%), pero que no suele ser una raíz de interés para aprovecharse. Para procesarse se necesita eliminar primero los compuestos amargos que contiene (Nurhayati, Suryadi et al., 2022).

El camote (*Ipomoea batatas*) se cultiva de forma extensa en diversas regiones de México, y es otra raíz que destaca por su alto contenido de almidón, además de su sabor agradable. De acuerdo con estudios realizados a esta raíz, el almidón que se extrae

presenta un 19.6% de amilosa, lo que lo hace ser un gel con buena transparencia (aproximadamente 52%). Estas propiedades hacen que sea adecuado para su aplicación en distintos alimentos, ayudando a dar estabilidad en condiciones de refrigeración y/o congelación (Hernández, Torruco et al., 2008).

5.9. La calabacilla como fuente no convencional de almidón

Actualmente, con las fuentes convencionales de almidón, que son principalmente el maíz, papa, arroz y trigo, existe una gran demanda de estos alimentos, ya sea para la obtención de almidón o su utilización en procesos alternos, por lo que se ha buscado implementar almidones alternativos cuyas características y propiedades sean similares o aún mejores que las de almidones convencionales señala Olagunju, A. et al (2020).

La calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth) es una planta silvestre que crece en zonas áridas y semi-áridas, encontrándola principalmente en el norte de México, en estados como Chihuahua, Baja California, Coahuila, Aguascalientes, y apareciendo también en el centro del país (Gómez-González, 2019); es resistente a temperaturas y condiciones de humedad no tan favorables como lo serían para el desarrollo de otras plantas más sensibles.

La raíz de calabacilla posee carbohidratos de gran importancia en la industria alimentaria con alrededor de 23% de amilosa. Es fuente de almidón con características y propiedades similares a las fuentes convencionales, lo que hace ser una buena alternativa para el procesamiento de alimentos cuyos requerimientos de temperatura no suelen ser muy agresivos (Rivera E. et al, 2017).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Recolección de muestra

La materia prima utilizada durante esta investigación consistió en raíces de calabacilla locca (*Cucurbita foetidissima* Kunth), recolectada dentro del campus principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Saltillo, Coahuila, México. El área de recolección se encuentra dentro de las instalaciones experimentales de la institución, cuyas coordenadas geográficas aproximadas son 25.3535° N, -101.0308° O.

La recolección se llevó a cabo durante el día 25 de enero del 2025 seleccionando únicamente raíces que tuvieran buen tamaño, no raíces pequeñas ni con un estado de madurez muy elevado y, que tuvieran ausencia de daño físico o signos de descomposición.

Las raíces fueron extraídas manualmente, utilizando herramientas agrícolas básicas, asegurando minimizar el daño físico a los tejidos. Posteriormente, las raíces recolectadas fueron llevadas inmediatamente hacia el laboratorio del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado dentro de la misma universidad, para acondicionar la materia prima para la extracción del almidón, lo que incluye el lavado, pelado y picado en trozos pequeños, para almacenar en congelación.

6.2. Extracción de almidón por método húmedo

Para comenzar con la extracción del almidón, la raíz acondicionada y almacenada previamente en congelación, se pasó a moler con agua del grifo en una proporción 1:4, para colarla con ayuda de tela organza doble, enjuagando el bagazo que iba reteniéndose hasta lograr el traspaso de agua clara. Después de ello, la mezcla obtenida se pasó por

un tamiz #100 para completar la eliminación de microfibras generadas de la molienda que pudo haberse filtrado.

La mezcla obtenida se dejó reposar por 24 h, para decantar y eliminar más residuos de fibra que aparecía sobre el precipitado de la materia de interés (almidón). Seguido de decantar, se realizó un lavado con NaOH al 0.01%, cuantificando la cantidad del precipitado para hacerlo en una proporción de 1:5 v/v y fue agitado hasta lograr una completa disolución (aproximadamente 20 minutos). Utilizando tubos de 50 mL, la mezcla se llevó a centrifugar por 10 min a 6000 rpm. Pasado el tiempo, se resuspendió la mezcla del almidón utilizando agua destilada o purificada en una proporción 1:5 para agitar hasta disolver perfectamente.

La mezcla se neutralizó utilizando ácido cítrico 0.1 N, haciendo uso de un potenciómetro para verificar el valor indicado del pH, siendo este de 7 a 7.5; llegando al pH deseado se llevó nuevamente a centrifugar durante 10 min a 6000 rpm. Al pasar los 10 min, se resuspendió el almidón con alcohol etílico absoluto previamente acondicionado a 5°C para lograr eliminar componentes no deseados, esto en proporción 1:3 v/v y se llevó por tercera vez a centrifugar bajo las mismas condiciones, eliminando el sobrenadante. Se realizó un último lavado con agua destilada en proporción 1:3 v/v para eliminar residuos de almidón y proteger contra algún riesgo de incendio en la posterior etapa de secado.

El almidón se colocó sobre cajas Petri de vidrio, para ser secado a 40°C por 24-36 h con convección forzada, con el fin de reducir su contenido de humedad a niveles óptimos para la modificación química; pasado el tiempo, estando el almidón completamente seco, se molió con la ayuda de un mortero y se tamizó en una malla #150.

El almidón obtenido se depositó en bolsas de cierre hermético bajo condiciones adecuadas (ambiente limpio y seco), etiquetado con la información necesaria para su identificación.

6.3. Modificación química por acetilación del almidón extraído

Se llevó a cabo siguiendo el método de acetilación de almidón por método caliente de Trela (2018) / Xu, Miladinov & Hanna (2004), con algunas modificaciones. Para ello, se mezclaron 50g de almidón nativo previamente secado con ácido acético glacial, manteniendo en agitación durante 5 minutos a 400 rpm a temperatura ambiente. Posteriormente, se agregó gota a gota 2.7g de NaOH al 50% por cada 10g del almidón; se llevó la reacción a 110°C manteniendo en agitación por una hora.

Una vez pasado el tiempo y finalizada la reacción, se enfrió a temperatura ambiente de manera controlada para evitar el choque térmico. Enseguida, se pasó a centrifugar a 4000 rpm por 5 min para decantar y así eliminar los reactivos no reaccionados y subproductos de la reacción.

Después, se realizaron lavados del almidón, el primero fue utilizando etanol mínimo a 4°C en proporción de 1: 5 (una parte de precipitado por 5 de alcohol), se decantó y se siguió con 3 lavados utilizando agua destilada fría entre 1 y 4°C bajo las mismas proporciones.

Para terminar esta etapa, el almidón se secó a 40°C por 24h en estufa deshidratadora por convección forzada para después moler y tamizar en malla No.150.

6.4. Determinación del grado de sustitución (GS) y % de grupos acetilo (%GA):

Se siguió el método empleado por Vargas et al. (2016), realizando un triplicado y el blanco con almidón nativo. Se mezcló 1g de almidón con 50 mL de agua destilada y 3 gotas de

fenolftaleína al 1%, manteniendo en agitación a temperatura ambiente hasta lograr la disolución completa. Enseguida, se neutralizó con NaOH 0.1N hasta el cambio de coloración a rosa manteniéndose la coloración por al menos 20 segundos. Se añadieron 25mL de NaOH 0.45N manteniendo en agitación vigorosa durante 30 min. Pasado el tiempo, se tituló con HCl 0.2N, y se registraron los mL gastados en cada repetición, incluyendo el blanco. Se realizaron los cálculos necesarios en base a las siguientes fórmulas:

%Determinación del GA

$$\%GA = \frac{(B - M) \times N \times 0.043}{PM} \times 100$$

Donde:

B: mL de HCl gastado en el blanco

M: mL de HCl gastados en la muestra

N: normalidad del HCl

PM: peso de la muestra seca (g)

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

Determinación del GS:

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

Donde:

162: peso molecular del UAG

4300: 100 x peso molecular del grupo CH₃-C=O

42: (peso molecular del grupo CH₃-C=O) – 1

Determinación del %tGA (% teórico de grupos acetilo)

$$\%tGA = \frac{A(0.716)}{100 + M(0.716)}$$

Donde:

A: peso de ácido acético utilizado por cada 100g de almidón en reacción.

M: peso de la muestra (g)

0.716: (peso molecular del grupo CH₃-C=O) / peso molecular del ácido acético

Se realizó el mismo proceso de acetilación para almidón proveniente de papa (*Solanum tuberosum*) y de maíz (*Zea mays*), teniendo así 6 tratamientos de trabajo: almidón de calabacilla loca, maíz y papa en su estado nativo y acetilado; esto para la realización de los análisis siguientes y su comparación en los resultados obtenidos.

6.5. Espectroscopia infrarroja (FTIR)

Cada muestra de almidón (nativos y acetilados) se caracterizó utilizando un espectrofotómetro FTIR. La transmitancia fue medida en un rango de 4000 a 600 cm⁻¹, como técnica para corroborar la modificación química de manera cualitativa.

6.6. Determinación de propiedades funcionales

Se evaluaron las siguientes propiedades funcionales: solubilidad en agua, poder de hinchamiento, capacidad de retención de agua y temperatura de gelatinización en muestras de almidón nativo y acetilado de papa, maíz y calabacilla loca. Todos los análisis se realizaron siguiendo una sola metodología descrita por Munive-Ledesma P. (2009). Durante todo el procedimiento se utilizaron guantes de nitrilo para así prevenir la contaminación de las muestras.

Se rotularon y se pusieron a peso constante tubos de plástico para centrifuga a 60 °C por 24 h (3 para cada temperatura: 50, 60, 70 y 80 °C; con un total de 12 tubos para cada tipo de almidón), pasando el tiempo, se enfriaron los tubos en desecador hasta temperatura ambiente y se registró el peso de cada tubo en la siguiente tabla (Tabla 2).

También se pusieron a peso constante tubos de vidrio previamente rotulados a 120°C por 2 h, para luego colocarlos en desecador hasta temperatura ambiente y registrar el peso.

Se pesaron aproximadamente 0.5g de almidón en cada tubo para centrifuga, registrando el peso de este, para mantener exacto el valor a la hora de realizar los cálculos. Después se añadieron 9.5g de agua destilada para lograr una concentración del 5% de almidón. Se agitó constantemente para lograr la suspensión completa. Se incubaron los tubos a la temperatura indicada por 30min.

Tabla 2. Propiedades funcionales de almidón

T(°C)	Tubo	Peso tubo	Muestra (0.5g)	Peso tubo+ gel	Tubo de vidrio	Tubo + soluble
50°C	R1					
	R2					
	R3					
60°C	R1					
	R2					
	R3					
70°C	R1					
	R2					
	R3					
80°C	R1					
	R2					
	R3					

Pasado el tiempo, se secó perfectamente el exterior de los tubos y se llevaron a centrifugar por 20 min a 6000 rpm, obteniendo así el sobrenadante que se depositó en los tubos de vidrio previamente rotulados y puestos a peso constante. Se registró el peso del gel (tubos de plástico + gel precipitado). Y los tubos de vidrio con el sobrenadante se

llevaron a la estufa de secado por 2h a 130°C, aumentando el tiempo en caso de ser necesario hasta que los tubos estén completamente secos, con el ligero residuo del almidón. Teniendo los tubos secos, se colocaron en un desecador para enfriar a temperatura ambiente (aproximadamente 30min) y se registró el peso (tubo + soluble). Se realizaron los cálculos correspondientes.

6.7. Prueba de sinéresis

Se realizó el siguiente análisis siguiendo la técnica de Vargas G., Martínez P. y Velezmoro C. (2016), para cada tipo de almidón en su forma nativa y acetilada (maíz, papa y calabacilla). Se pesaron 3 tubos de centrifuga (tubo y tapón) secos por cada almidón; en cada tubo se pesó 0.5g de almidón y se completó con 9.5g de agua destilada para disolver por completo. Se llevaron a calentamiento en baño de agua a 85°C por 30 min agitando en intervalos cortos de tiempo, con el fin de mejorar la gelatinización completa. Al completar el tiempo, se enfriaron utilizando agua fría a 25°C. los tubos se secaron y pasaron a centrifugarse a 3000 rpm por 10 min, eliminando el sobrenadante que nos indica el agua libre de la solución. Se secó perfectamente el exterior de los tubos con papel absorbente, para pesarlos después y así, no interferir con valores de pesos incorrectos (hora 0).

Se llevaron a congelación por 24 h a -18°C. Una vez concluido el tiempo de congelación, se descongelaron por 3 horas en baño de agua a 30°C para centrifugar a 4000 rpm por 30 min y eliminar el sobrenadante. Secar el exterior de los tubos y pesar nuevamente registrando el peso (hora 24). Se repitió este proceso de congelación y descongelación hasta completar 240h, registrando cada día los pesos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Registro para la prueba de sinéresis hasta las 240 h.

Almidón	Rep.	Tubo (g)	Tubo + gel	Hora 0	Hora 24	Hora 48	Hora 96	Hora 120	Hora 144	Hora 168	Hora 240
	R1										
	R2										
	R3										

6.8. Prueba de claridad de geles de almidón

Se siguió la metodología referida por Vargas, Martínez & Velezmoro (2016), realizándole algunas modificaciones.

Se comenzó por preparar 3 tubos de vidrio de 1 cm de ancho por cada almidón, considerando que se trabajó con almidón nativo y modificado de maíz, papa y calabacilla; verificando que no existieran variaciones en el color o grosor de cada tubo, para minimizar errores en los resultados. Después, en cada tubo se preparó una solución de almidón con agua destilada al 4% agitando manualmente hasta lograr total homogeneidad y así llevarse a calentar en un baño de agua a 90°C por 30 min. Durante este tiempo, se mantuvo la agitación constante (cada 5 min aproximadamente), para evitar la formación de grumos y así ayudar a una completa gelatinización. Al terminar este tiempo, se pasaron a enfriar en baño de hielo hasta llegar a 25°C.

Se llevaron los tubos al espectrofotómetro para realizar la lectura (% de transmitancia = %T) a 650nm utilizando una alícuota de agua destilada como blanco. Los geles se

almacenaron previamente identificados a 4°C y se realizó la lectura en las próximas 24, 48, 72 y 96h.

6.9. Determinación de color

Para esta determinación, se calibró el colorímetro con un patrón blanco estándar y se seleccionó el sistema de medición CIELAB que proporciona los parámetros de L* (luminosidad), a* (valor cromático verde [-] a rojo [+]) y b* (valor cromático azul [-] a amarillo [+]). Después, se colocaron aproximadamente 5g de cada almidón (nativo y acetilado) en una caja de Petri formando una base lo más uniforme posible, y se realizó la medición directa en modo de reflectancia. A cada muestra se le tomaron 5 lecturas en diferentes puntos de la base de almidón para así obtener un resultado representativo. Se registraron los valores de L*, a*, b*, Chroma, °hue y *ΔE.

6.10. Perfil de viscosidad a una temperatura constante

Para esta determinación se siguió la técnica descrita por Aguilar et al (2019), con modificaciones. Se preparó una solución de 40 g al 4% por cada almidón (almidón-agua destilada) para llevar a gelatinizar a 90°C por 15 min en agitación constante para una gelatinización completa. Al completar el tiempo, se llevó a enfriar a 35°C manteniendo siempre la agitación, para pasar después la solución a un tubo Falcon de 50ml. El tubo se llevó a un sistema de calentamiento de control constante a 35°C para así medir con el émbolo no.61 en el viscosímetro Brookfield HB, modelo DV-E a las velocidades: 0.3, 1, 2, 3, 5, 10, 12, 20, 30, 50 y 60 rpm. Se registró la lectura de viscosidad en mPa y en % de esfuerzo para cada velocidad, en intervalos de 2 min en cada velocidad para lograr la estabilización del equipo. Se realizaron 3 lecturas en serie, se graficaron y analizaron los datos obtenidos.

6.11. Elaboración de salchichas caseras tipo Viena

Para la preparación de las salchichas, se siguió la formulación descrita por la revista La Nación- sección de recetas (2022). Se utilizó carne mixta (res y cerdo) fría y lo más molida posible; esta fue mezclada con los ingredientes secos (almidón, ajo en polvo, cloruro de sodio, pimienta negra molida y paprika) hasta formar una pasta homogénea. Se agregó la cerveza (fría para lograr la incorporación completa) lentamente mezclando con la carne. Se embutió en tripa de celofán utilizando jeringa y evitando la formación de burbujas de aire y así obtener un diámetro homogéneo. La tripa fue amarrada en segmentos equidistantes, obteniendo salchichas del mismo tamaño posible (procurando que se obtuvieran 5 salchichas para las lecturas de TPA). Se llevaron a cocer a 85°C por 20 min. Esta técnica se llevó a cabo de igual manera para cada almidón (AMN, APN, ACN, AMA, APA y ACA).

Pasado este tiempo de cocción se cortaron las salchichas por los amarres, se drenó el agua producida y se almacenaron en refrigeración a 4°C por 24h identificando el tratamiento y número de cada salchicha.

6.12. Análisis de Perfil de Textura (TPA)

El Análisis de Perfil de Textura (TPA) es una prueba instrumental que simula la mordida humana mediante dos compresiones consecutivas sobre la muestra. En salchichas tipo Viena, este análisis ayuda a cuantificar propiedades sensoriales relacionadas con la firmeza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad de la matriz cárnica, lo que ayuda a evaluar la calidad, consistencia y efecto de distintos tratamientos de formulación.

Al pasar las 24h de refrigeración de las salchichas, se realizó la primera lectura de TPA (día 0), una salchicha por cada tratamiento, cortando en segmentos lo más iguales posibles de tamaño para la realización de 3 repeticiones por tratamiento, registrando su tamaño exacto.

Se realizó el TPA en el texturómetro Brookfield CT3, mediante la aplicación de una fuerza de compresión con una sonda cilíndrica de diámetro P/25, con una velocidad de pre ensayo de 2mm/s, velocidad de ensayo de 2mm/s, velocidad postensayo de 5 mm/s, comprimiendo las muestras 8mm. Posteriormente se obtuvieron los siguientes parámetros de TPA: dureza, cohesividad, gomosidad, elasticidad, masticabilidad y adhesividad.

Se mantuvieron en refrigeración las demás salchichas para llevar a cabo el TPA a los 5, 10, 15 y 20 días.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Rendimiento de extracción de almidón

El rendimiento aproximado de almidón que se obtuvo a partir de la raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*), fue de 24.4% en base húmeda. Este resultado representa la cantidad de almidón que se recuperó en relación con la raíz acondicionada para su procesamiento (244g de almidón por kg de raíz de calabacilla). Al comparar este resultado con otras investigaciones donde extrajeron almidón de calabacilla, pero específicamente de la especie *C. moschata*, el rendimiento más alto que tuvieron fue de 13.16% (Jangchud et al., 2017), este valor obtenido en esta investigación fue mayor, lo que puede atribuirse a la especie y al grado de madurez de las raíces utilizadas, y aun así pudiéndose mejorar los rendimientos, reduciendo pérdidas de material durante la etapa de filtrado al descartar la parte fibrosa de la raíz.

7.2. Grado de acetilación (%GA) y Grado de Sustitución (GS)

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos de la modificación química de los almidones nativos de maíz (*Zea mays*), papa (*Solaum tuberosum*) y calabacilla locca (*Cucurbita foetidissima*) por acetilación. Los valores presentados en la siguiente tabla son la representación del promedio de 3 repeticiones \pm error experimental.

Tabla 4.Grado de acetilación y sustitución de almidones modificados.

ALMIDÓN	% ACETILOS*	G.S.*
ARCL	0.373 \pm 0.057 ^a	0.014 \pm 0.002 ^a
maíz	1.548 \pm 0.397 ^a	0.059 \pm 0.015 ^a
papa	1.577 \pm 0.461 ^a	0.060 \pm 0.018 ^a

*Promedios \pm error experimental. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

El almidón de raíz de calabacilla loca (ARCL), mostró el grado de acetilación más bajo respecto al almidón de maíz y de papa (presentando estos un % muy similar). Al haberse llevado a cabo la modificación química bajo las mismas condiciones para cada almidón, se espera que el resultado obtenido se deba al tamaño, forma y estructura granular de la fuente botánica. Según Zieba et al., (2019), en su investigación donde se comparó la dosis de reactivo utilizado para la acetilación de papa y maíz, resultó ser el almidón de papa, el más susceptible a esta modificación, por lo que en esta investigación se cumple de igual manera, teniendo el valor más alto de acetilación el almidón de papa. En el caso del ARCL al tener un % de acetilación más bajo puede deberse a que el almidón extraído de raíz de calabacilla loca presenta características diferentes (gránulos más grandes, mayor cristalinidad) a los almidones de tubérculos como la papa o de cereales como el maíz, lo cual se manifiesta como un menor grado de acetilación, aun así, se lleve a cabo bajo las mismas condiciones.

Acerca del grado de sustitución (GS) de acetilación en los tres tipos de almidón, presentan un valor dentro del rango permitido para almidón destinado a diferentes matrices alimentarias. Según la FDA, el rango de GS que se permite va de 0.01 a 0.2 para consumo humano; los resultados obtenidos se sitúan dentro de este rango, además de tener la oportunidad de aumentar el % de acetilación para potencializar las propiedades del almidón de ser necesario, sin sobrepasar los límites permitidos.

7.3. Espectroscopia infrarroja (FT-IR)

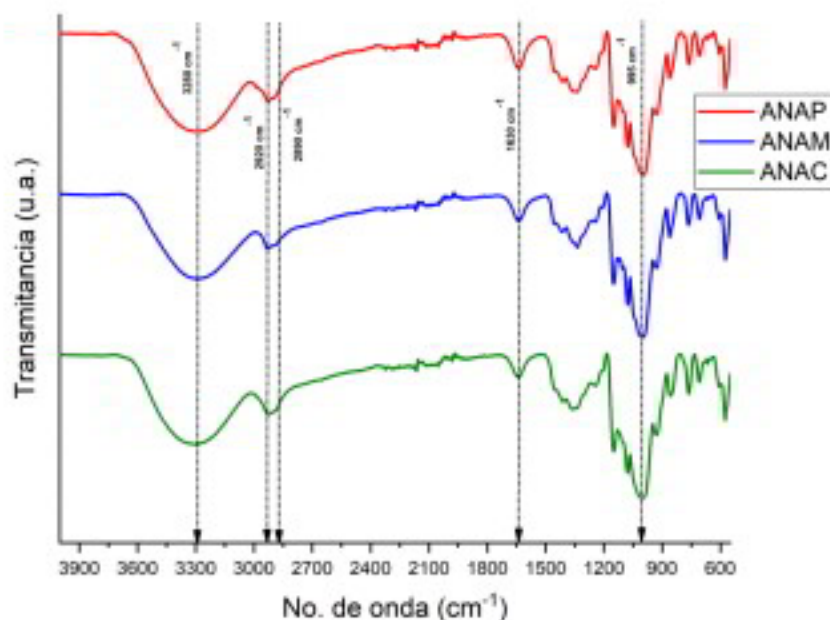


Figura 2. Espectros FT-IR de almidones nativos

En la Figura 2, se muestran los resultados de los espectros FT-IR para los almidones nativos de papa (ANAP), maíz (ANAM) y calabacilla (ANAC) en el rango 4000 a 600 cm^{-1} . En los tres espectros están presentes bandas características a las de un almidón: se observa una banda alrededor de los 3280 cm^{-1} , propio del estiramiento de enlaces O-H, lo que indica la interacción de puentes de hidrógeno. También se observa una banda entre los 2920 y 2890 cm^{-1} , que da señal a cadenas glucídicas (carbohidratos). Además, está la banda de los 1630 cm^{-1} que está asociada al agua ligada; y finalmente la banda que se observa en los 995 cm^{-1} está asociada a los enlaces glucosídico (enlaces glucosa-glucosa en la estructura de la amilosa y amilopectina).

Estos resultados confirman que las tres muestras presentan las bandas características de almidones nativos.

En la Figura 3, se muestran los espectros FT-IR ahora de los almidones de papa (AAP), maíz (AACM) y de calabacilla (AACC) en su forma acetilada. Comparando con los espectros anteriores de almidones nativos, se presenta una banda nueva en la que se demuestra la aparición de grupos acetilo dentro de la estructura de cada almidón.

Según Torres, Carmona & Aguirre (2015), las bandas relevantes que aparecen en los 1720cm^{-1} y 1530cm^{-1} son atribuidas a la vibración de deformación de grupos carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) correspondiente a la incorporación de grupos acetilo ($-\text{COCH}_3$) dentro de la estructura. Eso nos indica que mediante esta técnica se comprueba la exitosa modificación en los 3 diferentes almidones.

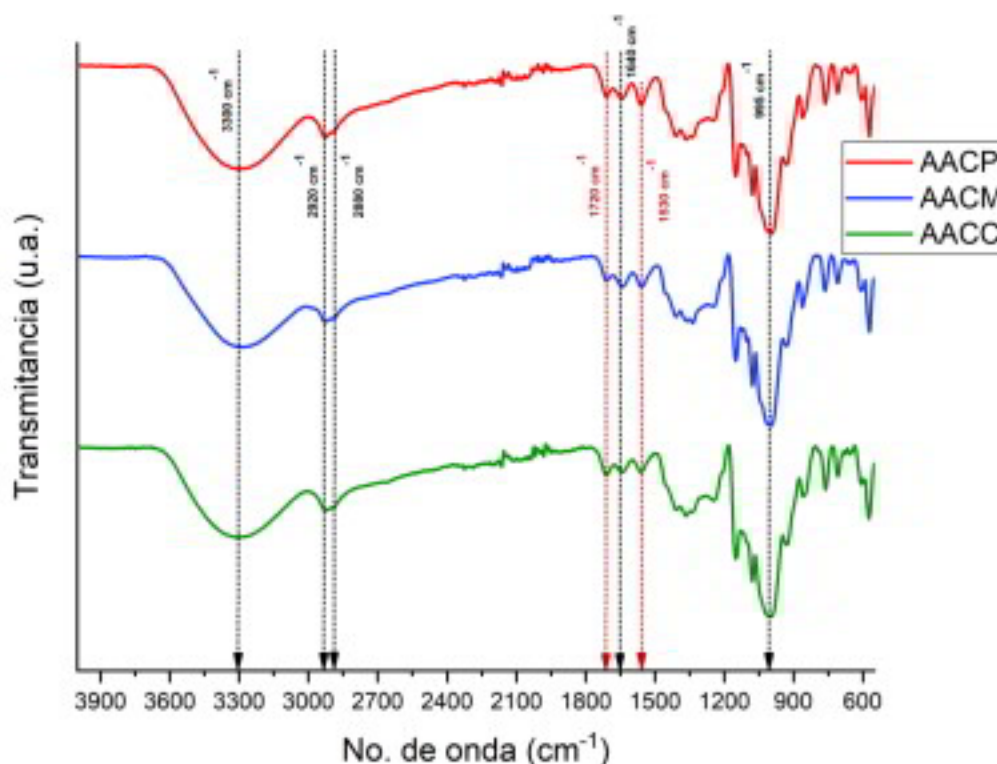


Figura 3. Espectros FT-IR de almidones acetilados

7.3.1. Índice de Afinidad al Agua

El Índice de Afinidad al Agua (IAA) se determinó calculando la relación entre la intensidad de la banda que aparece entre los 1600 y 1650cm⁻¹, correspondiente a la flexión H-O-H del agua ligada, y la banda de absorción de agua libre en 3300cm⁻¹ (estiramiento O-H).

En la Figura 4, se muestran los resultados para los almidones nativos y modificados de maíz, papa y de calabacilla, observando una relación entre almidones de la misma fuente botánica, siendo los almidones de calabacilla nativo y acetilado (ANAC y AACC) los que presentan una mayor afinidad al agua (más significativos) y los almidones de papa (ANAP y AACP) los de menor afinidad al agua (menos significativos).

La menor afinidad que se observa en los almidones de papa, respecto al de maíz y calabacilla, se atribuye probablemente a una mejor ordenación cristalina o también a la mayor presencia de complejos que reducen la accesibilidad a los grupos hidroxilo (Murillo, 1990).

Por otro lado, la acetilación modificó el resultado en el almidón de papa, mejorando su afinidad al agua a causa de la ruptura parcial del empaquetamiento cristalino y mayor accesibilidad al agua al interior del gránulo (Torres, Carmona & Aguirre, 2015); pero no provocó cambios significativos en el almidón de maíz y calabacilla; esto puede deberse al bajo grado de sustitución (GS) que se logró con la modificación.

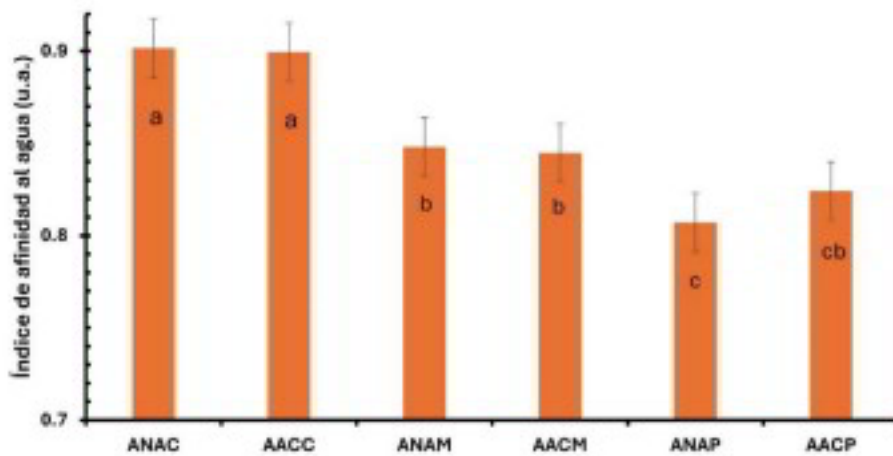


Figura 4. Índice de Afinidad al Agua: almidones nativos y acetilados

7.3.2. Índice de Cristalinidad Aparente (ICA)

El Índice de Cristalinidad Aparente se determinó en base a la relación que hay entre la intensidad de la banda de 1047cm⁻¹ y 1022cm⁻¹ correspondientes al orden de la estructura molecular dentro del gránulo del almidón.

En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos para almidones nativos y modificados por acetilación de calabacilla, maíz y papa.

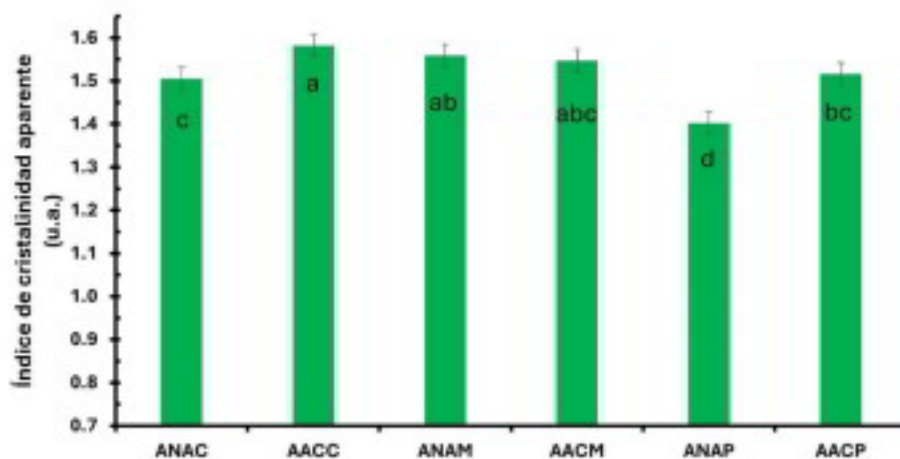


Figura 5. Índice de Cristalinidad Aparente en almidones nativos y acetilados

Los valores de Cristalinidad Aparente varían entre las distintas fuentes botánicas. En general, el almidón de calabacilla acetilado (AACC), mostró ser más significativo (mayor cristalinidad), mejorado este valor en relación a su estado nativo; tal es el caso del almidón de papa, mejorando su cristalinidad en el almidón modificado (AACP); lo que indica que la acetilación favoreció en el reacomodo, aumentando el orden cristalino o exponiendo regiones más ordenadas del gránulo. Esto suele pasar en casos cuando la modificación es muy leve que no es capaz de reducir la estructura cristalina (Sánchez, 2020).

Aunque los valores de los almidones de papa mejoraron después de la acetilación, son los más bajos en general, debido a la estructura de este almidón, siendo más sensible a la humedad y sus cristales son menos estable (Murillo, 1990).

En cuanto a los resultados de los almidones de maíz, no presentaron diferencias significativas, pudiendo relacionarse al bajo grado de sustitución, siendo insuficiente para modificar su estructura cristalina. En estos casos, la alteración se ve reflejada en las zonas amorfas, más que en las cristalinas (Fan, 2020).

7.4. Viscosidad

En la Figura 6, se muestra la variación de la viscosidad aparente de los almidones nativos de maíz (AMn), papa (APn) y de raíz de calabacilla (ARCLn) en función de la velocidad de 0 – 20 rpm. En los tres casos se observa un comportamiento propio de los fluidos pseudoplásticos, los cuales se caracterizan por disminuir la viscosidad con el incremento de la velocidad de agitación.

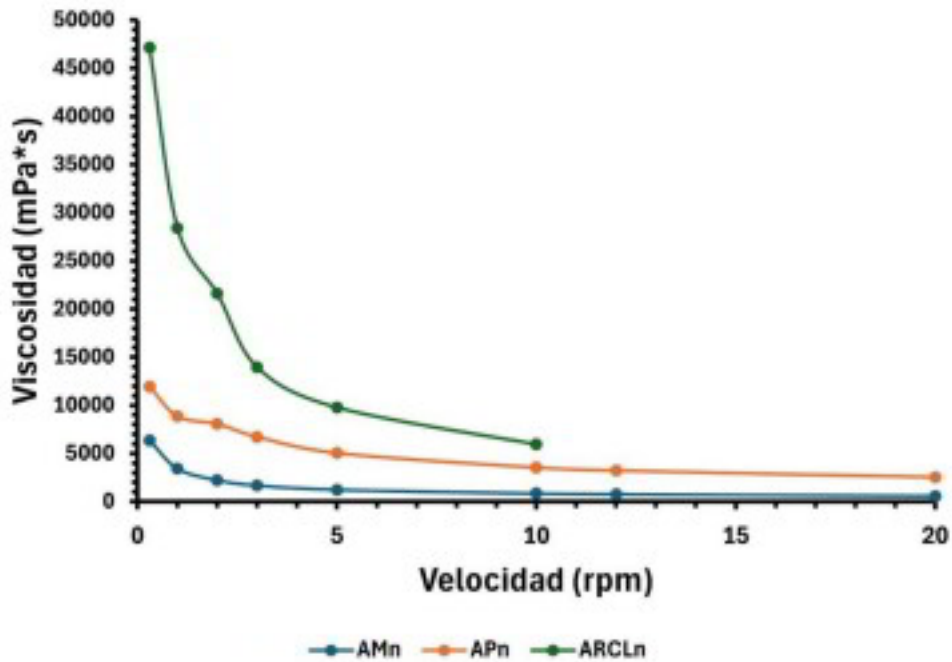


Figura 6. Viscosidad en almidones nativos

El ARCLn mostró una mayor viscosidad en todo el intervalo medido, con una disminución marcada conforme marca la velocidad. Esto sugiere una mayor capacidad de hinchamiento o una mayor proporción de zonas amorfas que favorecen la captación de agua y expansión del gránulo durante la gelatinización. El APn exhibe una viscosidad intermedia, que concuerda con su patrón cristalino tipo B, el cual absorbe agua con facilidad, pero también se desorganiza bajo cizalla. El AMn, posee una estructura tipo A, más compacta y menor capacidad de hinchamiento, generando pastas menos viscosas, corroborándose con esta técnica (Sánchez, 2020).

En la Figura 7, se muestra ahora el comportamiento sobre la viscosidad de almidones acetilados de maíz (AMa), papa (APa) y de raíz de calabacilla (ARCLa) en el mismo rango de velocidades, presentando el mismo comportamiento (Pseudoplástico).

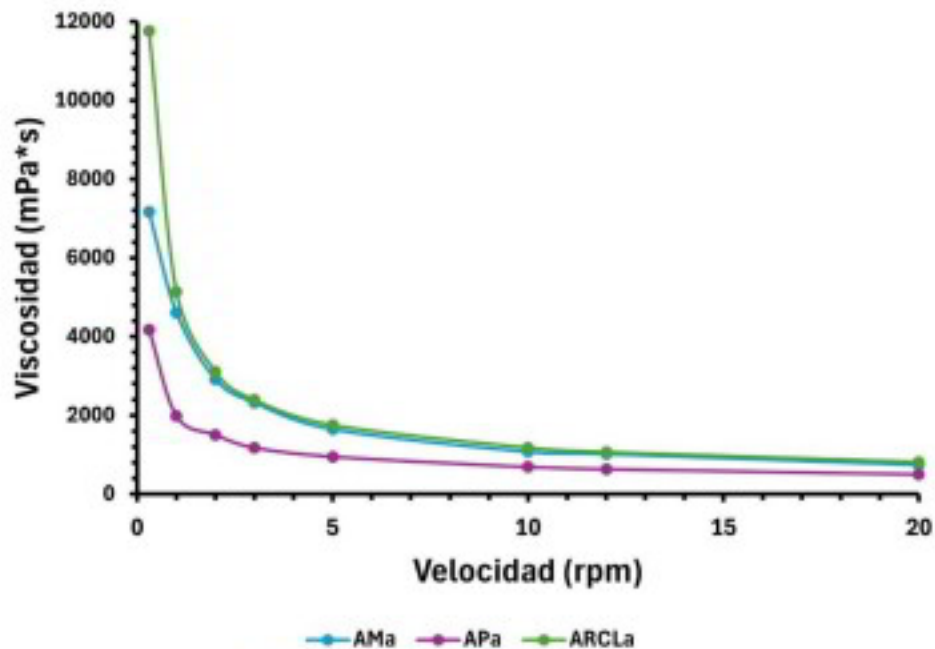


Figura 7. Viscosidad en almidones acetilados

Los tres almidones presentaron acetilados presentaron viscosidades iniciales menores respecto a su respectivo almidón nativo, pero con una estabilización más rápida a medida que aumento la velocidad. Este comportamiento es característico de almidones con grados de sustitución bajos, donde la introducción de grupos acetilo provoca menor densidad de enlaces intermoleculares y mayor movilidad de las cadenas.

El ARCLa presentó la viscosidad más alta, muy similar al nativo, indicando que la acetilación no redujo significativamente su capacidad de hinchamiento; el AMa registró una viscosidad inicial intermedia, pero su reducción con el cizallamiento fue marcada, lo que indica que la acetilación flexibiliza las cadenas, pero conserva una moderada capacidad de formación de red; y el APa fue el almidón más afectado por la modificación,

reflejando una reducción notable en la cohesión de su estructura tipo B. (Zhang et al., 2023).

En las siguientes Figuras, se muestra el comportamiento del esfuerzo (%) en función de la velocidad de corte para los almidones nativos (Figura 8) y acetilados (Figura 9), en todos los casos, el esfuerzo incrementó conforme aumento la velocidad, lo cual es típico de sistemas pseudoplásticos, donde la estructura interna del gel se reorganiza progresivamente ante mayores tensiones. Los resultados se ven reflejados en relación a la viscosidad que presentaron las muestras: a mayor viscosidad inicial, mayor fuerza necesaria para deformar el fluido.

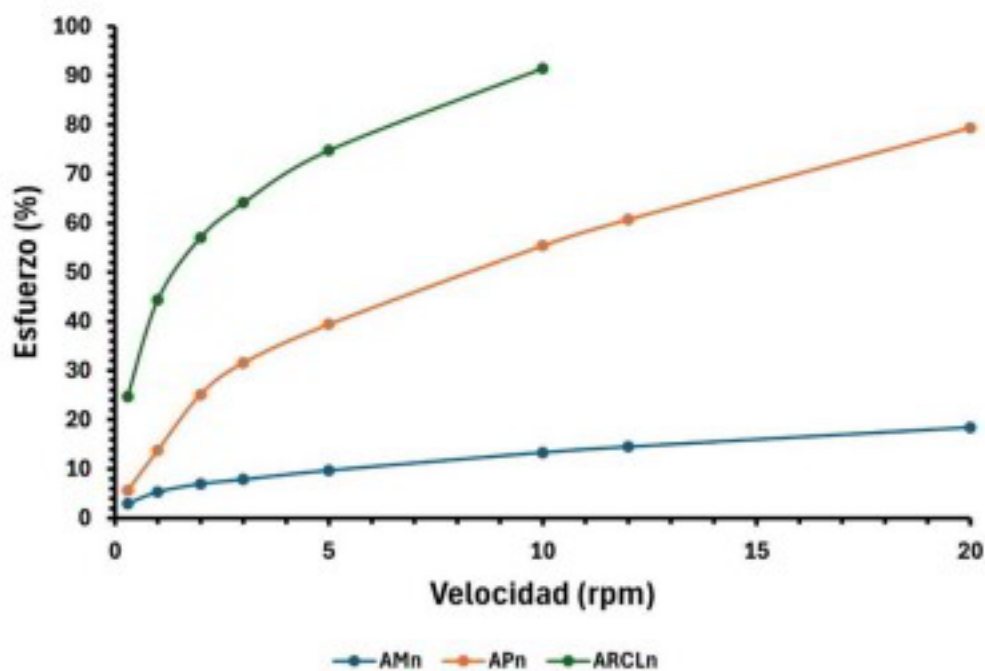


Figura 8. Comportamiento de almidones nativos

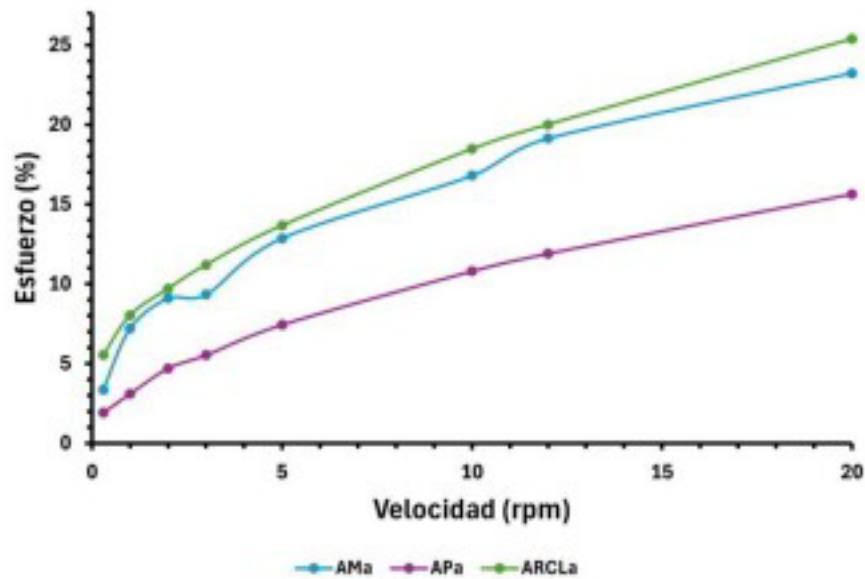


Figura 9. Comportamiento de almidones acetilados

En calabacilla, aunque ambos sistemas (nativo y acetilado) mostraron los mayores esfuerzos, el nativo desarrolló estructuras más fuertes y resistentes. En maíz, la acetilación incrementó ligeramente la capacidad del gel para resistir estrés comparado con el nativo, lo que sugiere que la modificación funcionó favorablemente en la interacción de cadenas. Y en papa, la reducción de esfuerzo fue más evidente después de la acetilación, mostrando sistemas más débiles y con una menor respuesta mecánica.

En conjunto, estos resultados muestran que el esfuerzo está directamente relacionado con la capacidad estructural desarrollada en el gel, y que las diferencias entre fuentes botánicas se asocian a su composición y morfología granular, mientras que la modificación modula la interacción interna reduciendo parcialmente la resistencia al flujo (Abedi et al., 2024).

7.5. Claridad de geles

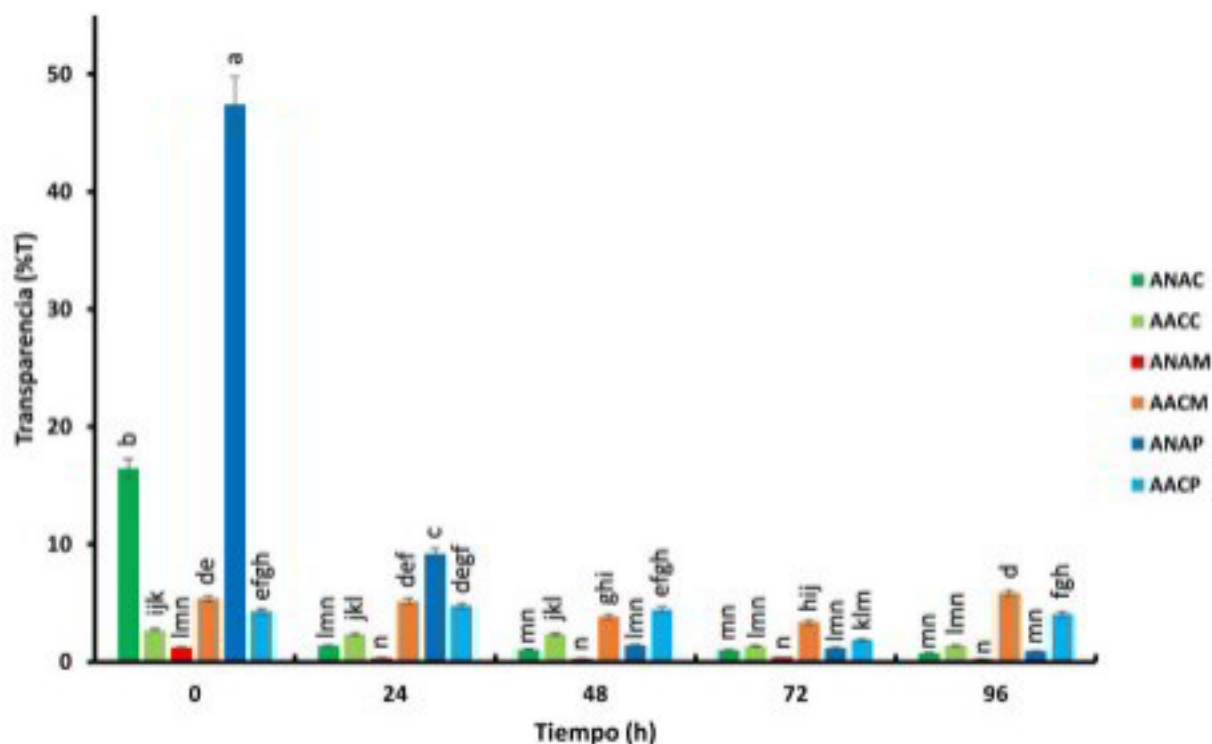


Figura 10. Claridad de geles en almidones nativos y modificados durante el almacenamiento

En la Figura 10, se muestra la evolución de la transparencia (%T) de los geles formados en los distintos almidones: nativo de maíz, papa y calabacilla (ANAM, ANAP, ANAC) y acetilados (AACM, AACP, AACC) y comportamiento en el transcurso de las 96 horas de almacenamiento a 4°C. En general, todos los almidones presentaron una marcada disminución en la transmisión de la luz durante las primeras 24h, seguida de una estabilización en valores bajos para el resto del periodo evaluado. A las 0 h, el ANAP presentó el valor más alto de transparencia (aprox 48%T), significativamente mayor al del resto de las muestras. En contraste, los geles elaborados de ANAM y AACC mostraron menores transparencias iniciales (<5%T). Tras 24h, todas las muestras redujeron su transparencia de manera notable, alcanzando valores inferiores a 10%T,

con diferencias moderadas entre fuentes botánicas. Entre 48 y 96h, las variaciones fueron mínimas, manteniéndose los geles con apariencia turbia.

Los resultados muestran que la claridad inicial del gel depende fuertemente del origen botánico y forma granular del almidón. El ANAP exhibió la mayor transparencia, lo cual se atribuye a su menor contenido de amilosa y a su estructura granular más hidratable, favoreciendo la formación de pastas con mayor homogeneidad y menos dispersión de luz (Zhang et al., 2023). Por otro lado, los AACCC y ANAM mostraron geles significativamente más turbios, lo que coincide con su mayor tendencia a la retrogradación, asociada al alineamiento de cadenas de amilosa y amilopectina que disminuye la transmisión de luz desde etapas iniciales. Además, en el caso de AACCC, la acetilación incorpora grupos que reducen las interacciones intermoleculares y limitan la retrogradación temprana, explicando su elevada claridad inicial (Meaño, 2014).

La fuerte caída en claridad entre las 0 y 24h para todas las muestras indica que, independientemente del tratamiento, ocurre un proceso rápido de reorganización molecular, principalmente por retrogradación de amilosa. Después de 24h, los cambios fueron mínimos, lo que sugiere que el proceso alcanza un equilibrio estructural que mantiene la turbidez estable. (Pycia et al., 2014)

7.6. Propiedades funcionales

7.6.1. Índice de Absorción de Agua

La Figura 11, muestra el comportamiento del IAA de los almidones nativos de raíz de calabacilla (ANAC), maíz (ANAM) y papa (ANAP) a cuatro temperaturas de evaluación

(50, 60, 70 y 80°C). En general, se observó un incremento del IAA conforme aumentó la temperatura, lo cual se fundamenta con la literatura, donde se explica que la gelatinización y la hidratación de los gránulos se intensifican a temperaturas más altas. A los 50°C, los almidones presentaron valores relativamente bajos (aprox 2 u.a.), sin diferencias marcadas. Sin embargo, a 60 y 70°C, ANAC mostró los valores más altos significativamente superior a ANAM y ANAP. Esto nos demuestra que el almidón de raíz de calabacilla posee una estructura granular más susceptible a la entrada de agua cuando se aproxima a su temperatura de gelatinización. A los 80°C, las diferencias se mantuvieron; sin embargo, se observó una ligera disminución en ANAC, lo cual puede atribuirse al colapso parcial de la estructura granular después de su punto máximo de gelatinización (Arrazola, Murillo & Alvis, 2020).

Los resultados proponen que el ANAC tiene mayor IAA a temperaturas elevadas, lo cual puede asociarse a su composición interna: mayor contenido de amilopectina o menor cristalinidad relativa (Solarte et al., 2019).

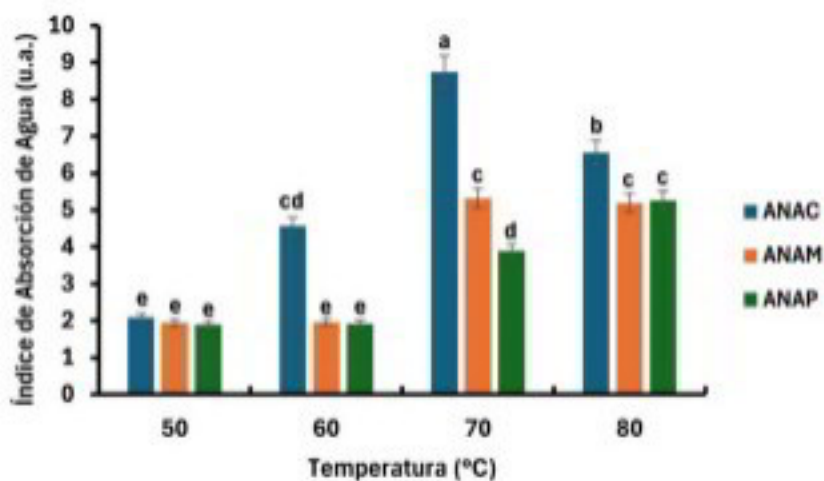


Figura 11. Comportamiento del IAA en almidones nativos

En la Figura 12, muestra los valores ahora para los almidones acetilados de calabacilla (AACC), maíz (AACM) y papa (AAPC). Al comparar con sus semejantes nativos, todos los modificados incrementaron significativamente en su capacidad de absorción en las diferentes temperaturas. A 50°C el IAA fue notablemente mayor, especialmente en AACC. Este aumento se puede atribuir a la incorporación de grupos acetilo, los cuales reducen las interacciones intermoleculares y permiten mayor absorción de agua. A 60 y 70°C, el AAPC mostró los valores más altos indicando que la acetilación favorece la hidratación especialmente en este almidón, posiblemente por su estructura granular grande y altamente hinchable. A los 80°C, todos los acetilados presentaron su punto más alto, corroborando el efecto mejorado de la modificación química sobre la afinidad del agua (Ma et al., 2022).

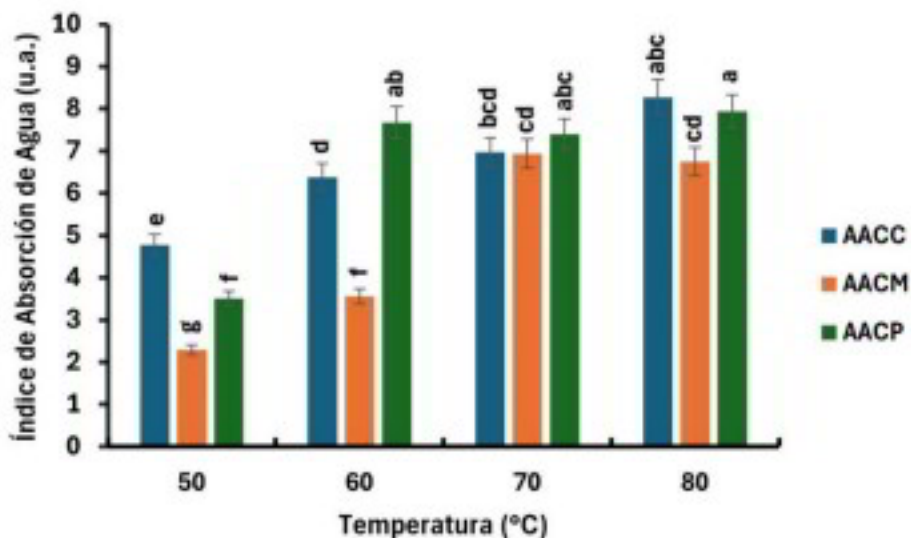


Figura 12. Comportamiento del IAA en almidones acetilados

7.6.2. Poder de Hinchamiento (PHi)

En la Figura 13, se presenta el comportamiento sobre el poder de hinchamiento de los almidones nativos, en el mismo rango de temperaturas de evaluación que en el IAA. En los tres almidones se registró un aumento en el PHi al ir aumentando la temperatura, puesto que es característico del proceso de gelatinización, donde la ruptura de zonas cristalinas facilita la absorción de agua y expansión granular. Los valores de PHi se ven condicionados a los resultados del IAA, mostrando el mismo comportamiento. A partir de 60°C se muestran las diferencias donde el ANAC aumentó considerablemente, mostrando ser más susceptible a la hidratación inicial.

El mayor cambio se muestra a los 70°C, donde el ANAC alcanzó el valor máximo, significativamente superior a ANAM y ANAP. Esto indica que el almidón de raíz de calabacilla posee gránulos con estructuras menos resistentes a la penetración de agua, posiblemente asociado a su menor cristalinidad o mayor contenido de amilopectina (Herrera et al., 2007).

A los 80°C, los tres almidones incrementaron su PHi, pero el ANAC permaneció como el de mayor hinchamiento, confirmando la tendencia observada. Este comportamiento es coherente al proceso de gelatinización con las diferencias en la organización granular de cada fuente botánica.

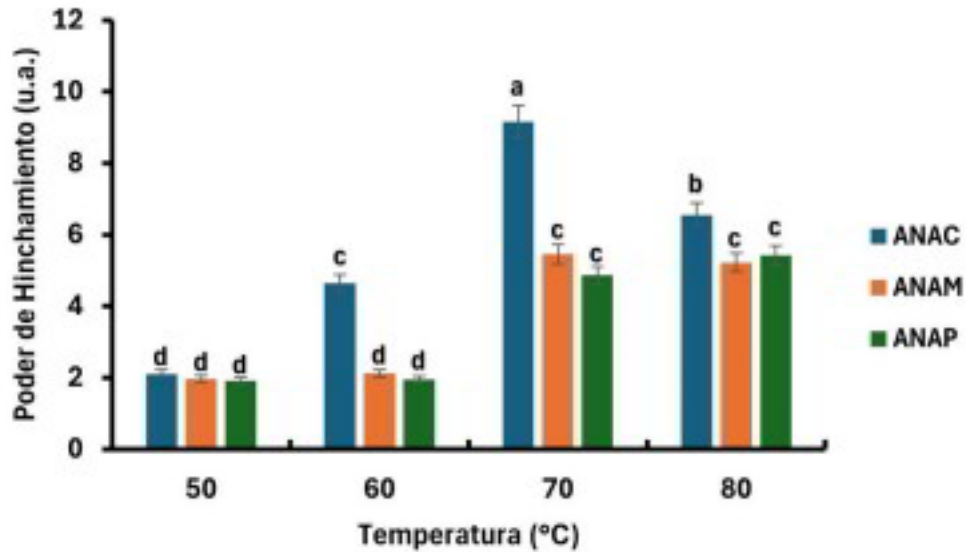


Figura 13. Comportamiento del Poder de Hinchamiento en almidones nativos

En la Figura 14, se muestran los valores del PHi de los almidones acetilados, donde se percibe el aumento en esta propiedad, de manera global comparado con los nativos, especialmente a temperaturas medias y elevadas. Esto debido a la reducción de enlaces H a causa de la introducción de grupos acetilo, y a la mayor movilidad molecular por el aumento de temperatura. A temperaturas elevadas (70-80°C), los almidones acetilados presentan hasta el doble de PHi respecto a los nativos, lo cual confirma la eficacia de la modificación para incrementar la expansión granular (Herrera et al., 2007).

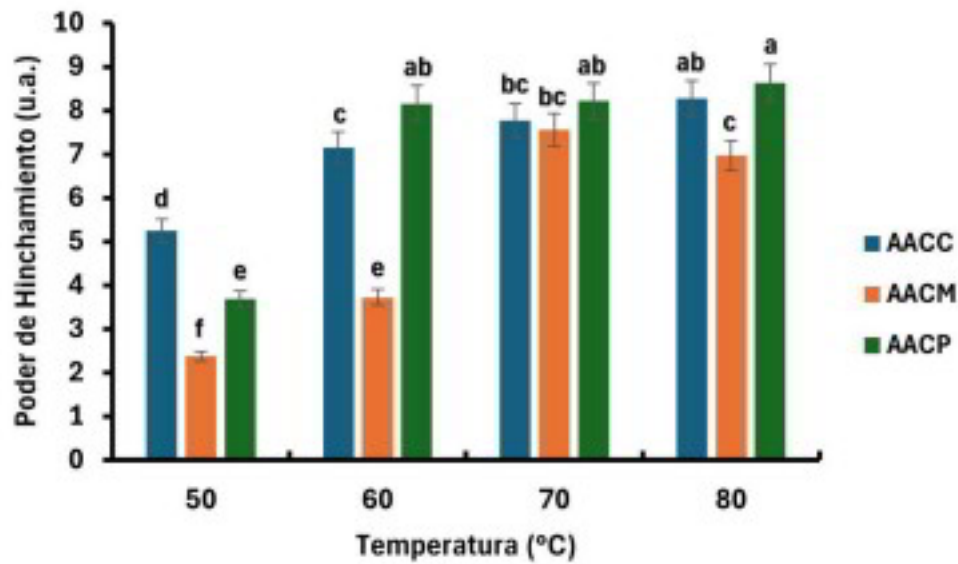


Figura 14. Comportamiento en el Poder de Hinchamiento en almidones acetilados

7.6.3. Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

En la siguiente Figura (Figura 15), se muestra el comportamiento del ISA en los almidones nativos, observándose diferencias significativas entre los diferentes almidones y las distintas temperaturas de evaluación. El ISA aumentó conforme se incrementó la temperatura, siendo más notable en el ANAC, alcanzando su valor máximo a 70°C

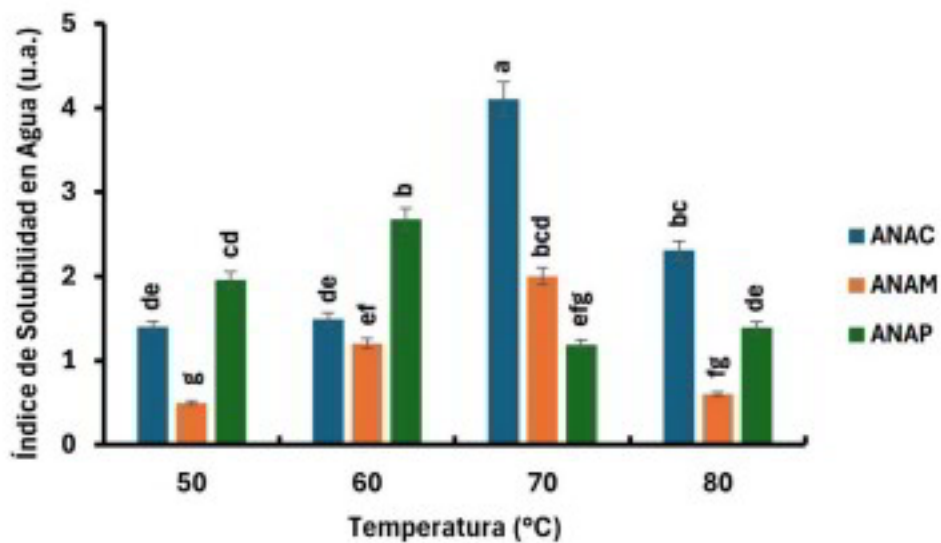


Figura 15. Comportamiento en el Índice de Solubilidad en Agua en almidones nativos

El aumento de ISA en almidones modificados (Figura 16), fue más evidente en las tres fuentes botánicas. Los acetilados de raíz de calabacilla (AACC) presentaron los valores más altos en las 4 temperaturas evaluadas. En todos los casos la modificación incrementó la solubilidad respecto al almidón nativo de la misma fuente, aunque sin diferencias significativas en AACC de 60-80°C.

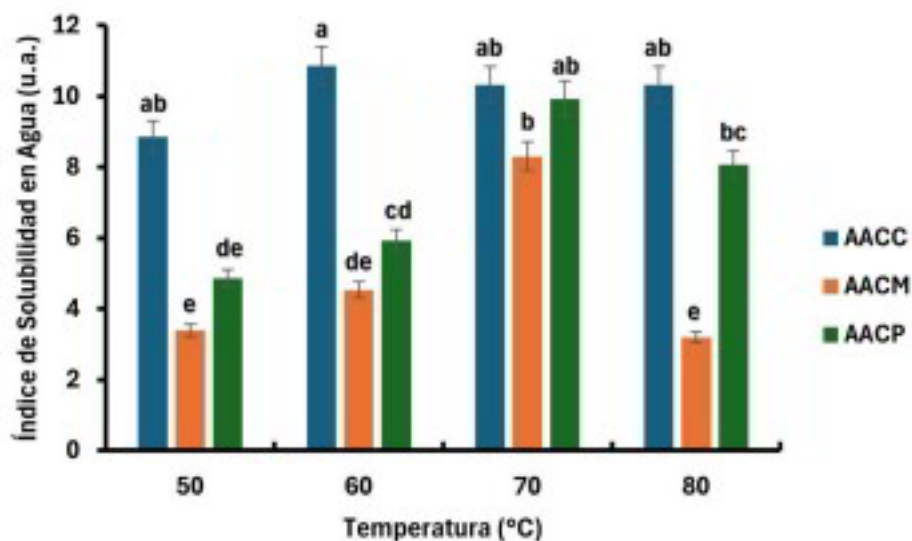


Figura 16. Comportamiento del Índice de Solubilidad en Agua de almidones acetilados

El comportamiento del ISA observó una tendencia creciente al aumentar la temperatura, lo cual es corroborado con la literatura, ya que temperaturas elevadas favorecen la disrupción de estructuras semi cristalinas y la liberación de componentes solubles del gránulo (Ma et al., 2022).

Los almidones de raíz de calabacilla presentaron los valores más altos, tanto en su forma nativa como acetilada, esto puede atribuirse a su menor ordenamiento cristalino, que facilita la lixiviación de cadenas cortas; un mayor contenido de amilopectina, que es más propensa a solubilizarse al romper enlaces intermoleculares durante el calentamiento; y sus gránulos menos compactos y con mayor proporción de regiones amorfas (Thakur, Sharma S. & Sharma R., 2023).

En contraste, los almidones de maíz mostraron la menor solubilidad en ambos estados, Esto es congruente con su mayor cristalinidad y, por ende, su estructura más compacta, que limita la liberación de materiales solubles incluso a temperaturas elevadas. Y los almidones de papa presentaron valores intermedios, como consecuencia de su estructura tipo B y su mayor tamaño de granulo, lo que permite cierta solubilización, pero a un grado menor que lo demostrado en el almidón de raíz de calabacilla (Montoya et al., 2023).

La acetilación incrementó el ISA en las tres fuentes botánicas debido a que los grupos acetilo generan repulsión electrostática y reducen la retrogradación, disminuye la cristalinidad y aumenta la capacidad de hidratación y facilita la lixiviación de fracciones moleculares al medio acuoso (Ventura et al., 2024).

7.6.4. Sinéresis

Los valores de sinéresis obtenidos después obtenidos de 240h de almacenamiento a 4°C mostraron diferencias significativas entre los diferentes almidones. El ANAC y

ANAP presentaron los valores más altos de sinéresis (29-35%) indicando una mayor expulsión de agua durante el proceso de retrogradación. Este resultado sugiere que estos almidones poseen una mayor capacidad de reorganización molecular tras la gelatinización, lo que favorece a la formación de estructuras densas con el paso del tiempo.

Por otro lado, el AACM mostró el valor más bajo de sinéresis (alrededor de 5%), lo que indica una estructura gelatinizada más estable y con menor tendencia a la expulsión de agua. Este comportamiento puede atribuirse a una organización molecular que limite la formación de redes rígidas capaces de contraerse durante el enfriamiento prolongado.

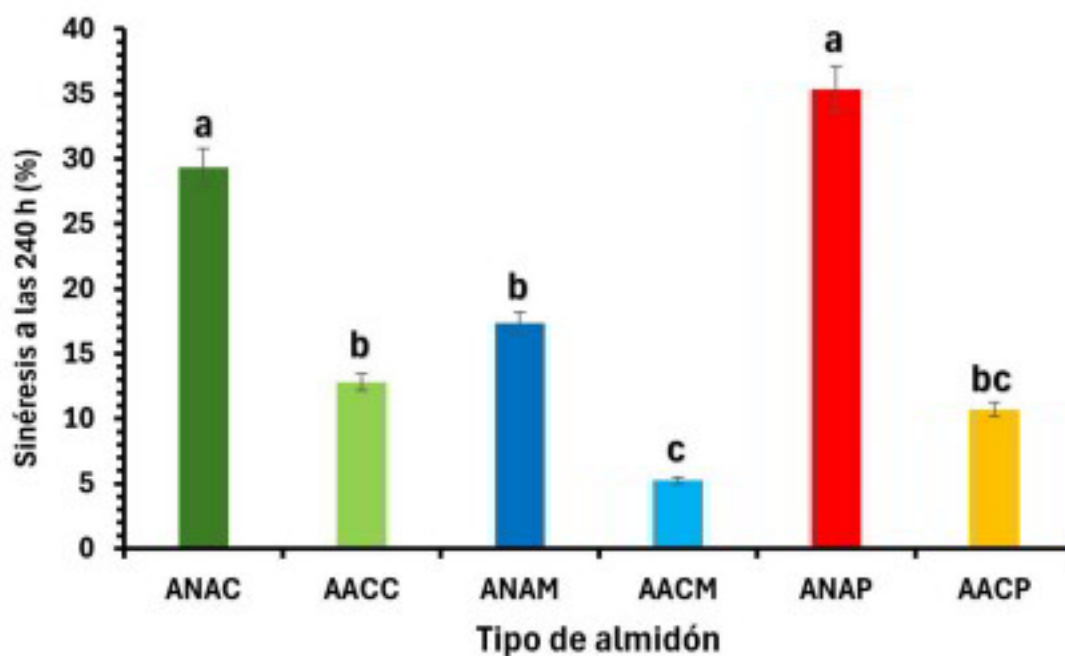


Figura 17. Comportamiento de sinéresis en almidones nativos y acetilados a las 240h de almacenamiento a 4°C

Estos resultados se ven relacionados directamente con su comportamiento previo en claridad de geles y confirma que las propiedades funcionales dependen en gran medida de su estructura molecular. Los resultados indican que AACM es el almidón con mayor estabilidad del gel, mientras que ANAC y ANAP presentan mayores cambios estructurales durante el almacenamiento, evidenciados tanto por su alta sinéresis como su claridad baja. Sin embargo, los valores de sinéresis para almidones acetilados respecto a su fuente nativa mejoraron considerablemente debido a la alteración de su estructura impidiendo así la reorganización normal para cada almidón.

7.7. Cromaticidad

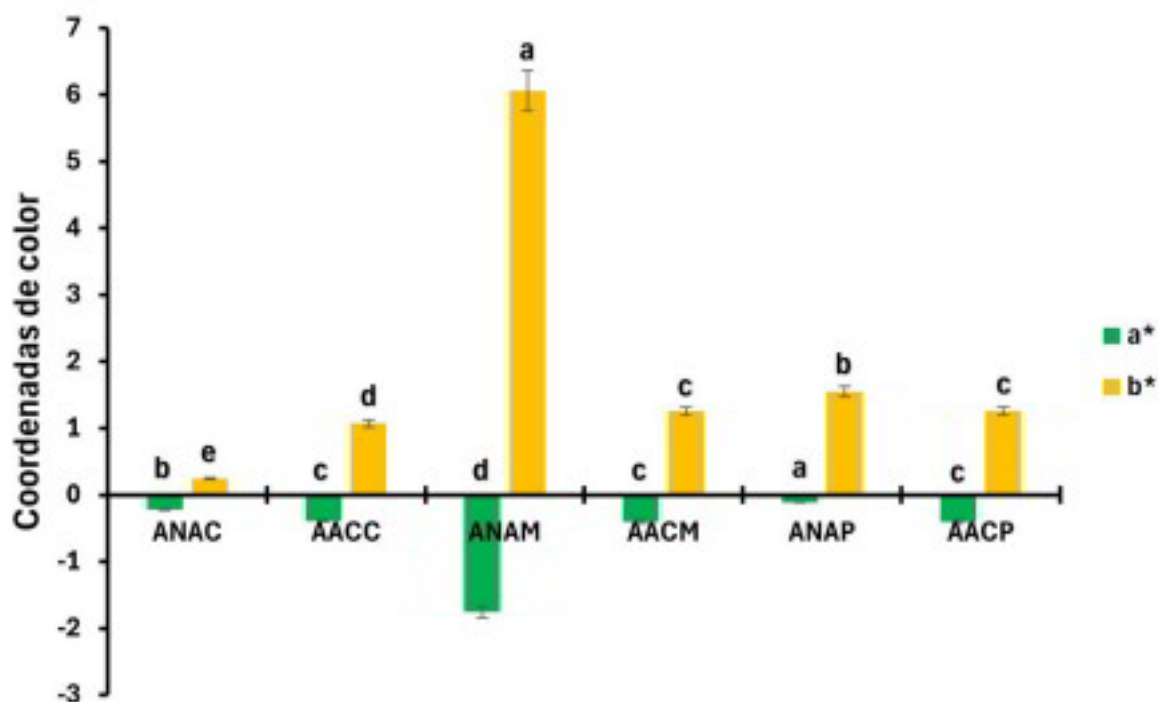


Figura 18. Coordenadas de cromaticidad (a^* y b^*)

En la Figura 18, se muestran los valores de cromaticidad obtenidos para las muestras de almidón, mostrando diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. En

general, los valores de a^* fueron predominantemente negativos o cercanos a cero, indicando una ligera tendencia hacia tonalidades verdosas, lo cual es común en almidones nativos debido a la presencia mínima de compuestos cromóforos. No obstante, la muestra ANAM presentó el valor más negativo de a^* (cercano a -2), sugiriendo una mayor desviación hacia tonalidades verdes. Esta variación puede relacionarse a la presencia de residuos vegetales o con el origen botánico del almidón, factores que influyen en el contenido de pigmentos residuales.

En cuanto a los valores de b^* , todas las muestras mostraron valores positivos, indicando una tendencia hacia tonalidades amarillentas, característica típica de almidones con trazas de compuestos fenólicos o de productos de oxidación leve. Sin embargo, la muestra ANAM destacó al presentar un valor de b^* considerablemente mayor (alrededor de 6), significativamente superior al resto. Este comportamiento sugiere que dicho almidón posee un mayor grado de pigmentación natural (Herlina et al., 2022)

Las diferencias generales en cromaticidad pueden atribuirse al grado de pureza del almidón, a diferencias en la composición química residual (como lípidos o proteínas), así como a variaciones en el proceso de obtención o en la estructura granular que afecta la forma en la que la luz interactúa con su superficie del gránulo (Syed et al., 2023).

7.7.1. Luminosidad

Los valores de luminosidad (L^*) presentados en la siguiente imagen (Figura 19), oscilaron entre 94 y 99, lo que demuestra que las muestras presentaron un color muy claro, como se espera en almidones con bajo contenido de impurezas. La muestra de ANAC mostró el valor más alto (alrededor de 99), lo que corresponde a un almidón altamente luminoso y con escasa presencia de material no amiláceo. Este valor sugiere una mayor blancura,

probablemente asociada a un proceso de obtención más eficiente o a una estructura granular más homogénea.

Por otro parte, el valor más bajo de luminosidad fue en el ANAP, indicando una ligera apariencia más opaca. Esta disminución de luminosidad poder ser debido a la presencia de pigmentos residuales, proteínas, minerales o a una mayor susceptibilidad a la retrogradación superficial, lo cual puede oscurecer ligeramente la muestra por efecto de dispersión de luz. El resto de los tratamientos: AACC, ANAM, AACM y AACP, mostraron valores intermedios (96-98), dando resultados adecuados según lo reportado para almidones de alta calidad (Pastrana & Quintero, 2021).

Los resultados obtenidos en almidones nativos concuerdan con la literatura, donde se menciona que estos pueden mostrar un color más oscuro en relación a su nativo (valor de L* menor) y un tono más amarillo (valor de b* mayor) esto debido a las condiciones de calor en las que fueron sometidas las muestras durante el proceso de acetilación, provocando un ligero pardeamiento (Syed et al., 2023).

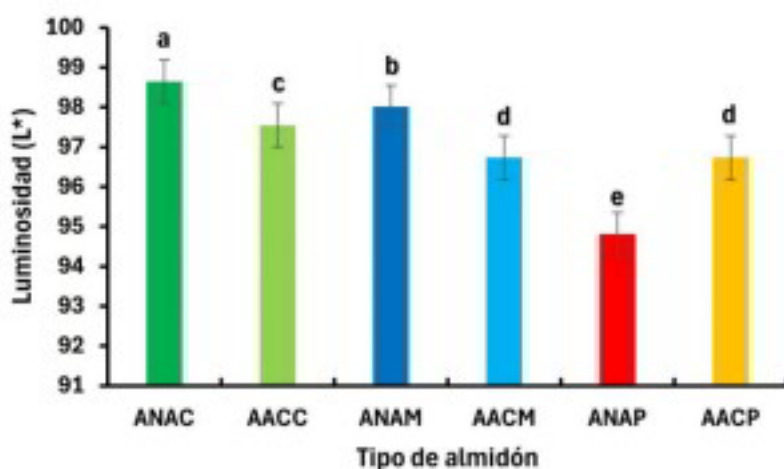


Figura 19. Luminosidad (L*) de almidones nativos y modificados

7.8. Morfología del gránulo de almidón

La Figura 20 muestra la morfología de los gránulos de almidón de raíz de calabacilla locca en su forma nativa (A y B) y acetilada (B y C), observados mediante luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) a 200x.

En la micrografía con luz transmitida (A), los gránulos presentan forma predominantemente ovaladas y esféricas, con bordes definidos y una distribución de diversos tamaños. Bajo luz polarizada (B), los gránulos muestran “cruces de extinción” bien marcados, indicando un alto orden cristalino dentro de la estructura granular. Esta intensidad confirma su organización molecular interna típica de un almidón sin modificaciones (Syed et al., 2020).

En la imagen bajo luz transmitida en almidón acetilado de raíz de calabacilla (C), los gránulos conservan su morfología general, pero se aprecia una ligera pérdida de definición de bordes, lo que indica una modificación parcial de la superficie debido al proceso de acetilación; sin embargo, no se trata de deformaciones severas. Con luz polarizada (D), la intensidad de los patrones de birrefringencia disminuye considerablemente comparado con el almidón nativo, indicando una disminución del orden cristalino, resultado esperado de la incorporación de los grupos acetilo.

La menor definición de los cruces respalda lo que dice la literatura, que la acetilación genera una estructura más desorganizada y con menor alineación molecular (Martin & López, 2009).

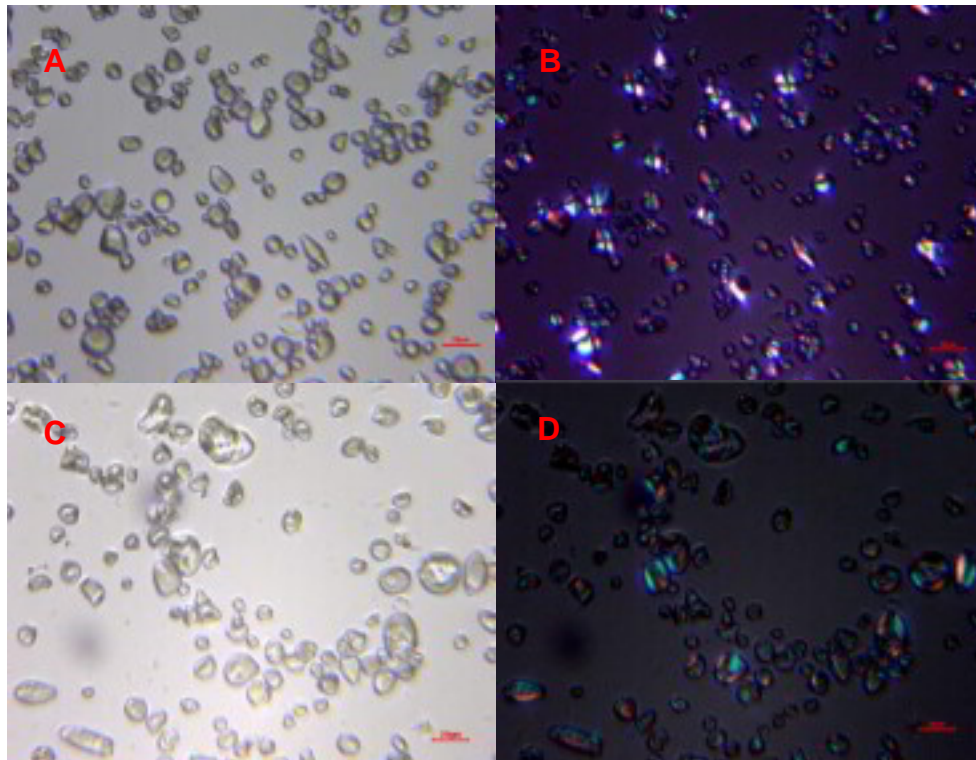


Figura 20. Microscopía de luz transmitida(MLT) y de luz polarizada (MLP) a 200x de almidón de raíz de calabacilla

Notas: (A) MLT almidón nativo; (B) MLP almidón nativo; (C) MLT almidón acetilado; (D) MLP almidón acetilado.

En la Figura 21 se muestran ahora los gránulos de almidón de maíz nativo y acetilado observados mediante luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) a 200x.

En MLT los gránulos nativos (A) presentan formas poligonales y redondeadas, con contornos definidos y el hilio visible en la mayoría de ellos. Su tamaño es relativamente uniforme, lo que concuerda con la morfología típica del almidón de maíz. Bajo luz polarizada (B), los gránulos muestran birrefringencia clara, evidenciada por los cruces marcados, lo que confirma el buen orden interno de los gránulos nativos.

En el almidón de maíz acetilado bajo MLT (C), los gránulos mantienen su forma poligonal característica, pero se observa una ligera pérdida de nitidez en los bordes, lo cual indica una modificación superficial del gránulo tras la acetilación. No se presentan rupturas

estructurales. Y con luz polarizada (D), la birrefringencia disminuye en intensidad comparada con el nativo. La menor claridad de los cruces sugiere una reducción del orden cristalino, efecto típico de la incorporación de los grupos acetilo (Corradini & McClements, 2019).

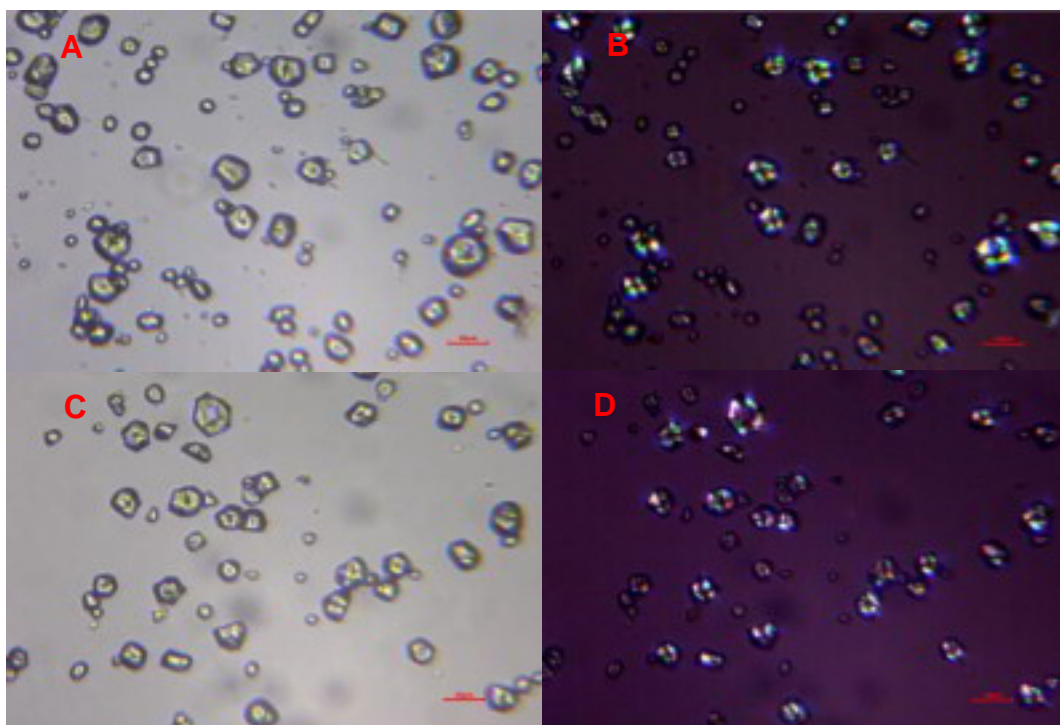


Figura 21. Microscopía de luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) A 200x de almidón de maíz

Notas: (A) MLT almidón nativo; (B) MLP almidón nativo; (C) MLT almidón acetilado; (D) MLP almidón acetilado.

Las Figura 22 ahora muestra la morfología del almidón de papa nativo y acetilado observada mediante luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) A 200x.

En almidón nativo bajo luz transmitida (A), los gránulos presentan formas elipsoidales, ovoides y redondeadas, observándose una distribución amplia de tamaños, gránulos pequeños y otros notablemente grandes. Los hilios se distinguen como marcas internas, usualmente excéntricas. Bajo MLP (B), los gránulos muestran una birrefringencia intensa

con los cruces bien definidos indicando una estructura semicristalina altamente ordenada coherente con la naturaleza del almidón de papa (Corradini & McClements, 2019).

En almidón acetilado (C), los gránulos conservan su forma elipsoidal típica, aunque se aprecia una ligera pérdida de nitidez en la periferia del gránulo. Con luz polarizada (D), la birrefringencia persiste, pero con una disminución en la intensidad de los cruces de extinción respecto al almidón nativo, correspondiente a una interrupción parcial del orden cristalino (Rivas-González et al., 2008).

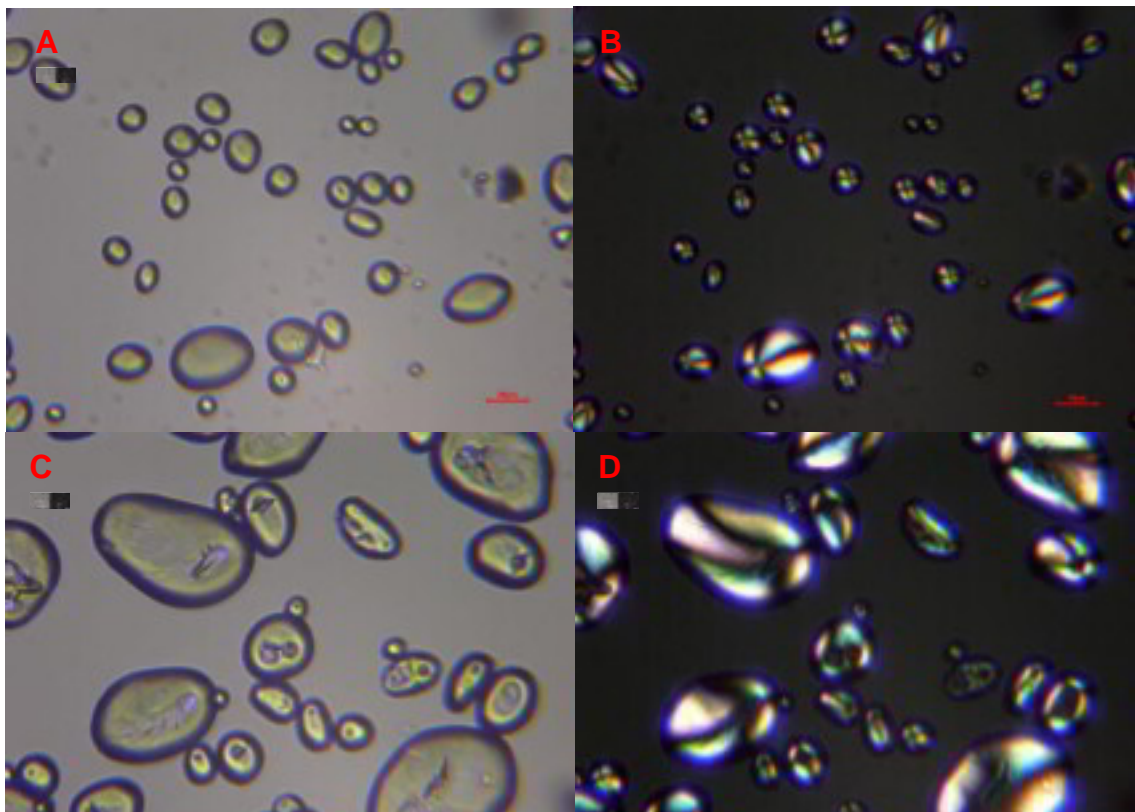


Figura 22. Microscopía de luz transmitida (MLT) y luz polarizada (MLP) A 200x de almidón de papa

Notas: (A) MLT almidón nativo; (B) MLP almidón nativo; (C) MLT almidón acetilado; (D) MLP almidón acetilado.

7.9. Características generales de las salchichas elaboradas

Las salchichas tipo Viena, elaboradas con los seis tratamientos de almidón: nativo y acetilado de raíz de calabacilla, maíz y papa; presentaron características físicas relativamente homogéneas en cuanto a tamaño, obteniéndose cinco salchichas de 10 cm de largo por 2cm de diámetro aproximadamente.

A diferencia de las salchichas comerciales, que generalmente presentan un tono rosa característico debido al uso de nitritos y pigmentos, las salchichas de este estudio, presentaron un color más natural, entre grisáceo claro a marrón, similar al de la carne cocida natural; este color es consistente con productos cárnicos procesados sin aditivos sintetizados, en los cuales la oxidación de la mioglobina durante la cocción produce estas tonalidades marrones o grisáceas (Figura 23).



Figura 23. Salchichas elaboradas bajo diferentes formulaciones con almidones nativos y acetilados de maíz, papa y raíz de calabacilla.

7.10. Análisis de Perfil de Textura

El análisis de perfil de textura (TPA) permitió evaluar los cambios en la dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad de las salchichas formuladas con los distintos tipos de almidón durante 20 días de almacenamiento en refrigeración a 4°C.

7.10.1. Dureza

En la Figura 24 se muestra el comportamiento de la dureza en los diferentes tipos de almidones, mostrando variaciones dependientes del tiempo de almidón y del tiempo de almacenamiento. En general, los tratamientos con almidón acetilado AACM y AACP presentaron valores más estables, mientras que las salchichas de almidones nativos mostraron mayores fluctuaciones a lo largo del tiempo.

Los valores más altos de dureza se observaron en ambas salchichas de maíz nativo y acetilado hacia el día, lo que sugiere una mayor firmeza estructural atribuida a la estabilidad de retrogradación. Por el contrario, AACP mostró una disminución marcada en el día 15, comportamiento asociado posiblemente a una liberación parcial de agua o debilitamiento temporal de la red proteica.

En conjunto, la dureza confirma que los almidones acetilados confieren una textura más estable en el tiempo, lo cual coincide con sus menores niveles de sinéresis previamente observados

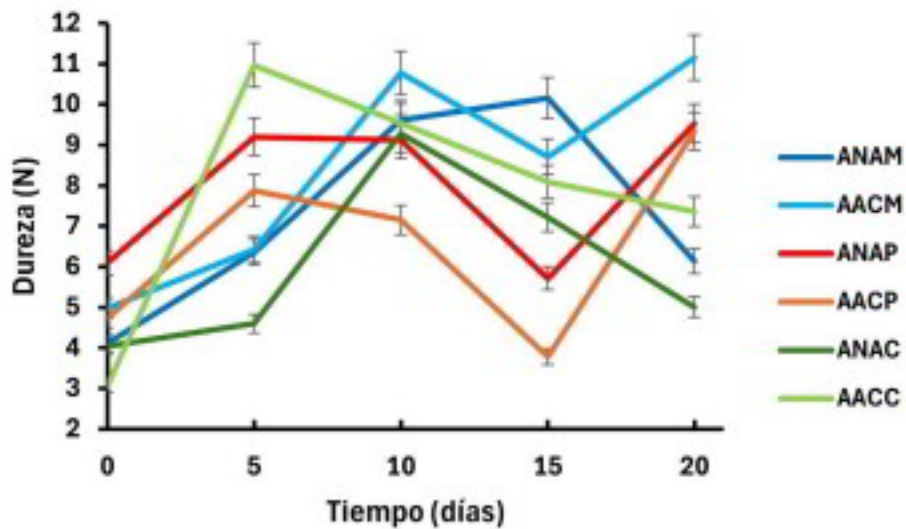


Figura 24. Nivel de dureza en almidones

7.10.2. Adhesividad

En la Figura 25, se muestra el comportamiento de Adhesividad en las diferentes salchichas, presentando incrementos moderados en especial en AACP, que alcanzó el valor más alto hacia el día 20. Este comportamiento indica una mayor interacción del gel de almidón con la matriz cárnica conforme avanza la retrogradación. Y, por lo contrario, el ANAC fue el que presentó el menor nivel de adhesividad, pero mantuvo estabilidad durante todo el periodo debido a su estructura granular sin modificar que limita la interacción con las proteínas de la salchicha.

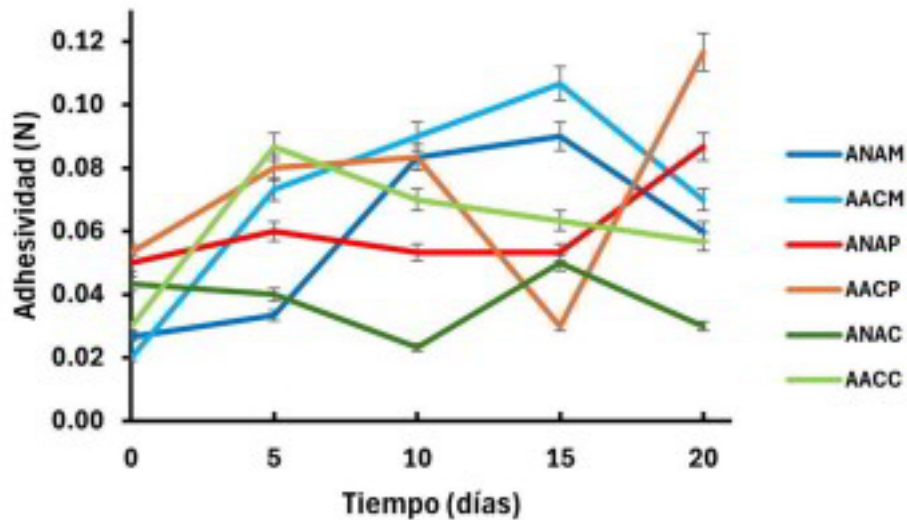


Figura 25. Nivel de adhesividad en almidones

7.10.3. Cohesividad

En la Figura 26, se muestra el comportamiento de cohesividad en los diferentes tratamientos. Aquí se ve como la cohesividad disminuyó en todos los tratamientos durante los primeros días de almacenamiento, estabilizándose después del día 5. Esta reducción es típica en productos cárnicos emulsionados debido al reacomodo de la red proteica y ligera pérdida de agua interna.

Los tratamientos ANAC y ANAM mantuvieron valores ligeramente superiores hacia el final del periodo, lo que sugiere una mayor integración entre el almidón granular y la matriz proteica. En contraste, los almidones acetilados mostraron cohesividades ligeramente menores, pero más estables, coherente con su comportamiento menos retrogradable.

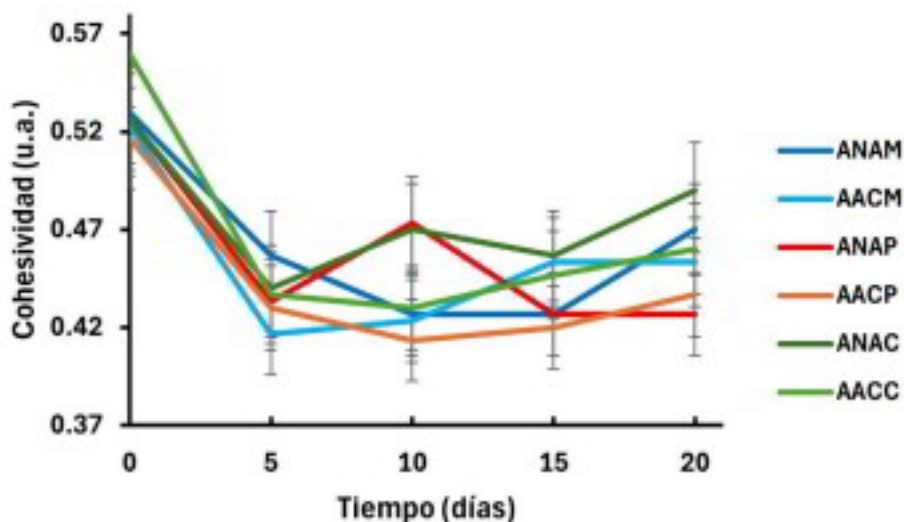


Figura 26. Nivel de cohesividad en almidones

7.10.4. Elasticidad

En la Figura 27, se muestran los resultados del comportamiento durante el mismo periodo de tiempo de elasticidad; se observa un comportamiento más homogéneo en la mayoría de los tratamientos, excepto con el AACC, mostrando los valores más bajos durante el periodo de almacenamiento, aumentando hacia el día 5 pero disminuyendo después manteniéndose estable. Este comportamiento indica una menor estabilidad estructural, posiblemente debido a que la modificación no favorece la formación de redes cohesivas en la formulación de salchichas.

los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas, lo que sugiere que tanto almidones nativos como acetilados poseen buena capacidad de retención de estructura y cohesión dentro de la matriz cárnica, debido a la buena capacidad de formar geles estables durante el almacenamiento.

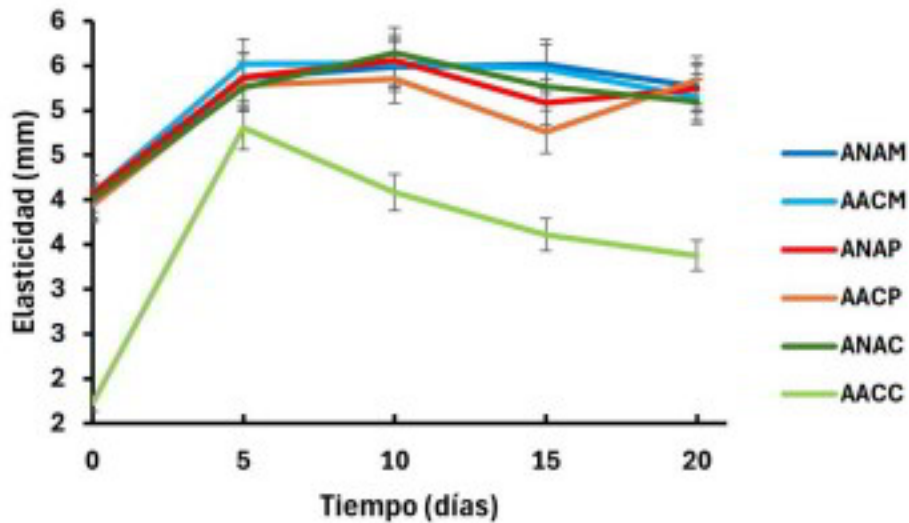


Figura 27. Nivel de elasticidad en almidones

7.10.5. Gomosidad

En la Figura 28 se muestran los cambios en la gomosidad de las salchichas elaboradas. En general, se observa un incremento inicial de gomosidad hasta el día 10 en la mayoría de los tratamientos. El AACM presentó el valor más alto a los 20 días, indicando una menor capacidad para mantener la firmeza y cohesión durante el almacenamiento. Las caídas que se observan en el día 15 puede deberse a la sensibilidad de los almidones a cambios estructurales como la retrogradación.

Para los almidones de raíz de calabacilla, alcanzaron picos tempranos, pero disminuyeron progresivamente, siendo al día 20 el ANAC el que obtuvo el valor más bajo, sugiriendo una menor estabilidad estructural comparado con maíz y papa; sin embargo, para AACC al día 20 se posicionó en un lugar intermedio, demostrando un resultado positivo tras la modificación.

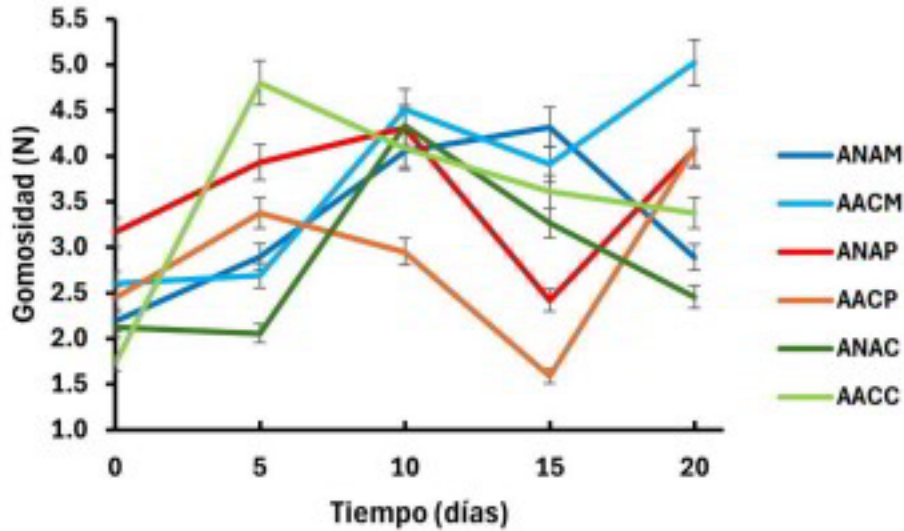


Figura 28. Nivel de gomosidad en almidones

7.10.6. Masticabilidad

En la Figura 29, se muestra el comportamiento de masticabilidad en las salchichas elaboradas, presentando el mismo comportamiento que en la gomosidad. El AACM presentó al día 20 el valor más alto indicando que esta formulación requiere mayor energía para ser masticadas, lo que sugiere una textura más firme y cohesiva.

Por el contrario, el ANAC mostró el valor más bajo al final del periodo. Aunque presentaron aumentos iniciales, la disminución progresiva indica que su estructura se debilita con el tiempo, resultando una textura menos resistente a la masticación. Los demás tratamientos se posicionan en lugares intermedios con una textura masticable moderada durante el almacenamiento.

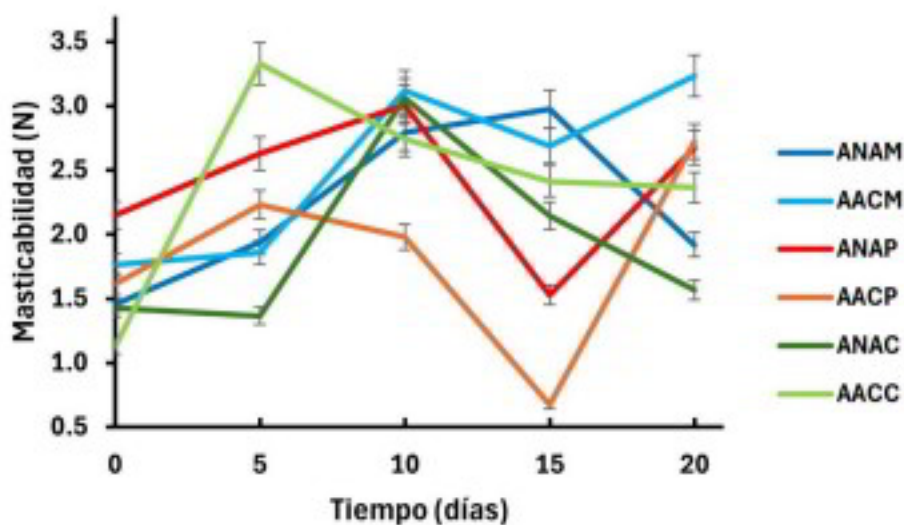


Figura 29. Nivel de masticabilidad en almidones

8. CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que la raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* Kunth) constituye una fuente alternativa viable para la obtención de almidón, con características funcionales y tecnológicas comparables a los almidones convencionales de mayor uso como maíz y papa.

Con la acetilación aplicada a los tres almidones de estudio se logró un Grado de Sustitución bajo, adecuado para su uso alimentario, pero suficiente para mejorar sus propiedades funcionales. Los espectros FTIR confirmaron la incorporación de grupos acetilo, mientras que la microscopía por luz transmitida y polarizada mostró que la estructura granular se conservó, presentando únicamente una ligera disminución en birrefringencia y un hinchamiento más evidente en los almidones modificados.

En cuanto a sus propiedades funcionales, el ARCL destacó por presentar mayores valores de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad en comparación con maíz y papa, tanto en su estado nativo como acetilado. La acetilación incrementó estas propiedades en los tres tratamientos, reduciendo la sinéresis durante su almacenamiento y proporcionando geles más estables y con menor retrogradación. Estos comportamientos fueron congruentes con los resultados de cromaticidad, claridad de geles y viscosidad, que sugiere que la acetilación favorece una mejor interacción con el agua y una red gelatinizada menos rígida.

En la aplicación de estos almidones en salchichas tipo Viena, se observaron efectos directos sobre la textura y retención de humedad. Los seis tratamientos permitieron identificar que el AACC, generó un producto con mayor suavidad, elasticidad moderada, y por sus valores intermedios de dureza, cohesividad y masticabilidad reflejan una buena capacidad de unión agua y proteína. Y en almidones nativos produjeron texturas más firmes debido a su mayor capacidad de hinchamiento y gelatinización; así, la hipótesis nula se acepta.

El estudio confirma que el almidón de raíz de calabacilla, tanto nativo como acetilado, puede considerarse un ingrediente funcional prometedor para la industria cárnica y alimentaria en general. Su desempeño competitivo frente a almidones comerciales, junto con su disponibilidad regional y bajo aprovechamiento actual, lo posicionan como una alternativa con potencial real para diversificar las fuentes de almidón utilizadas en México y reducir la dependencia de materias primas convencionales como el maíz y la papa.

9. LITERATURA CITADA

- Abedi, E., Roohi, R., Hashemi, S. M. B., & Kaveh, S. (2024). Investigation of ultrasound-assisted starch acetylation by single- and dual- frequency ultrasound based on rheology modelling, non-isothermal reaction kinetics, and flow/acoustic simulation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106737>
- Ačkar, D., Babić, J., Jozinović, A., Miličević, B., Jokić, S., Miličević, R., Rajič, M., & Šubarić, D. (2015). Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives: A Review. *Molecules* 2015, Vol. 20, Pages 19554-19570, 20(10), 19554–19570. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES201019554>
- Aguilar M., Arrocha f., Rodríguez J., Yángüez J., López L., Rodríguez R., Solís M. (2019). Viscosity determination of a commercially modified starch at different concentration using the Brookfield viscometer model DV-II. *Revista Científica Guacamaya* 4(1): 1-6. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/212/212969008/index.html>
- Alcázar-Alay, S. C., & Almeida Meireles, M. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Alfaro, M. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLATANO VARIEDAD CAVENDISH EN ESTADO VERDE-MADURO: Modalidad de graduacion: Investigacion Aplicada. *Repositorio UAJMS*. <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/177>
- Alvarez, D., Castillo, M., Garrido, M., & Bañón, S. (2007). Efecto de la composición y el de procesado sobre las propiedades tecnológicas y ópticas de las emulsiones cárnicas. https://www.researchgate.net/publication/277261819_Efecto_de_la_composicion_y_el_de_procesado_sobre_las_propiedades_tecnologicas_y_opticas_de_las_emulsiones_carnicas
- Amador Llanas, C. Y. (2018). *Obtención, purificación y caracterización de almidón de raíz de calabacilla loca (Cucurbita foetidissima HBK) y sus potenciales aplicaciones*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/7528511>

- Arrazola Paternina, G., Murillo Martínez, M. florencia, & Alvis Bermúdez, A. (2020). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 117–127. <https://doi.org/10.18684/BSAA.V19.N1.2021.1471>
- Autor anónimo (2022). Receta de salchichas caseras como las que hace Paulina cocina. La Nación, sección de recetas – recetas principales. 24 de marzo de 2022. Disponible el 27 de octubre de 2025 en <https://www.lanacion.com.ar/recetas/platos--de-comida-principal/salchichas-caseras-como-las-hace-paulina-cocina-nid24032022/>
- Bajaj, R., Singh, N., Kaur, A., & Inouchi, N. (2018). Structural, morphological, functional and digestibility properties of starches from cereals, tubers and legumes: a comparative study. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3799. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3342-4>
- Barraza-Garza, G., de La Rosa A, L. A., Martínez-Martínez, A., Castillo-Michel, H., Cotte, M., & Alvarez-Parrilla, E. (2013). *La Microespectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier SISTEMAS BIOLÓGICOS*. www.relaquim.com
- Barrera Téllez, K. (2018). Evaluación fisicoquímica y sensorial de jamón cocido adicionado con jamón resistente. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/2137/1/Evaluaci%c3%b3n%20fisicoqu%c3%admica%20y%20sensorial%20de%20jam%c3%b3n%20cocido%20adicionado%20con%20almid%c3%b3n%20resistente.pdf>
- Bello Pérez, L., Ramos, C., Maribel, S., Manilla, R., Feria, S., & Aparicio, J. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano. *Agrociencia*, 36(2), 169–180. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236204>
- Bombón-Tonato, L. M., Zambrano-Ochoa, Z. E., Morales-Padilla, M. M., & Villacres-Poveda, C. E. (2025). Utilización del almidón modificado de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*) como extensores en la elaboración de salchicha. *MQRInvestigar*, 9(2), e486. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.2.2025.e486>
- Chakraborty, I., N, P., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, M. H., & Mazumder, N. (2022). An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in

- Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 15(6), 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/S11947-022-02761-Z/FIGURES/2>
- Chakraborty, I., Pallen, S., Shetty, Y., Roy, N., & Mazumder, N. (2020). Advanced microscopy techniques for revealing molecular structure of starch granules. *Biophysical Reviews*, 12(1), 105. <https://doi.org/10.1007/S12551-020-00614-7>
- Chen, J., Hu, F., Guo, J., Zhang, W., & Wu, Z. (2024). Retrograded Resistant Starch Improves Emulsion Stability and Emulsion Gel Properties Stabilized by Myofibrillar Proteins Without Degrading In Vitro Protein Digestibility. *Foods*, 13(23), 3739. <https://doi.org/10.3390/FOODS13233739/S1>
- Corradini, M. G., & McClements D., J. (2019). Microscopy | Food Applications. *Encyclopedia of Analytical Science*, 47–56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14314-8>
- Cuevas, K. T., Castillejos, G. R., Gallardo, J. R., Lizarazo Ortega, C., & Hernández Jiménez, C. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 41, 44–51. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.6>
- Das, A., & Ghosh, J. (2025). Impact of resistant starch on human health: A review. *International Journal of Biology Sciences*, 7(2), 18–21. <https://doi.org/10.33545/26649926.2025.V7.I2A.293>
- Delgado, Y. (2018). Aplicaciones de almidones nativos y modificados en la industria láctea y cárnica. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3294>
- Dev Kumar, Y., & Prakash Eknatharao, P. (2015). Effect of acetyl esterification on physicochemical properties of chick pea (*Cicer arietinum* L.) starch. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4176–4185. <https://doi.org/10.1007/S13197-014-1388-5/METRICS>
- Fan, Y., & Picchioni, F. (2020). Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116350. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116350>
- Gómez González, A., Rangel Guerrero, J. M., Morales Flores, F., Aquino Pérez, G., Santana García, M. A., Silos Espino, H., Gómez González, A., Rangel Guerrero, J. M., Morales Flores, F., Aquino Pérez, G., Santana García, M. A., & Silos Espino,

- H. (2019). Diagnóstico de poblaciones silvestres de calabacilla loca en el Altiplano Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1517–1528. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I7.1693>
- Grajeda, N., Márquez, M., Galicia García, T., Estrada, I., Mendoza, M., Márquez, R., Ruiz, M., Quintero, A., Portillo, B., & Soto, C. (2021). Use of hydrolysis prior to the chemical and thermomechanical modification of rice starch: alternative to traditional modification treatments. *Biotecnia*, 23(1), 151–160. <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V23I1.1296>
- Herlina, M., Yana, C., Sarah, B., Giffary Pramafisi, S., & Mohamad, D. (2022). Physicochemical and pasting properties of corn starch as affected by hydrothermal modification by various methods. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 792–812. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2064490>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Physical-chemical characterization of starch from cultivated tubers in Yucatan, Mexico. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Herrera, I., Catro, J., Gómez, C., Falfán, R., & Rodríguez, M. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2006.02.006>
- Hsieh, C. F., Liu, W., Whaley, J. K., & Shi, Y. C. (2019). Structure and functional properties of waxy starches. *Food Hydrocolloids*, 94, 238–254. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.03.026>
- Huang, L., & Liu, Q. (2023). High-resistant starch crops for human health. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(22), e2305990120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2305990120>
- Jangchud, K., Jangchud, A., & Prinyawiwatkul, W. (2017). Comparisons of physicochemical properties and antioxidant activities among pumpkin (*Cucurbita moschata* L.) flour and isolated starches from fresh pumpkin or flour. *International*

- Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 2436–2444.
<https://doi.org/10.1111/IJFS.13528>
- Kahraman, K., & Korkut, A. (2024). Pickering Emulsions Stabilized by Starch Nanoparticles. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 5(2), 89–103.
<https://doi.org/10.57252/JRPFOODS.2024.7>
- León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S. D. la, & Herrera Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620–626.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.4263365>
- Li, B., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Xu, F., Zhu, K., & Huang, C. (2021). A novel underutilized starch resource— *Lucuma nervosa* A.DC seed and fruit. *Food Hydrocolloids*, 120, 106934. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.106934>
- Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L., Dang, W., Li, J., Li, L., & Liu, C. (2022). Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology*, 5(2), 87–97.
<https://doi.org/10.1016/J.GAOST.2022.01.001>
- Magallanes-Cruz PA, Duque-Buitrago LF, Del Rocío Martínez-Ruiz N. Native and modified starches from underutilized seeds: Characteristics, functional properties and potential applications. *Food Res Int.* 2023 Jul; 169:112875. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112875. Epub 2023 Apr 25. PMID: 37254325.
- Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., & Pramafisi, G. (2022). The Properties, Modification, and Application of Banana Starch. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 3092, 14(15), 3092. <https://doi.org/10.3390/POLYM14153092>
- Martin, J. C., & López, E. (2009). MODIFICACIÓN FÍSICA DEL ALMIDÓN DE YUCA Y EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA POR UNA ALFA AMILASA. *Colombiana de Química*, 38.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042009000300005
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. ‘única.’ *Revista de La*

- Sociedad Química Del Perú, 85(3), 338–351.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mason, W. R. (2009). Starch Use in Foods. *Starch*, 745–795.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00020-3>
- Meaño Correa, N., Ciarfella Pérez, A. T., & Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182–188. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mohamad Yazid, N. S., Abdullah, N., Muhammad, N., & Matias-Peralta, H. M. (2018). Application of Starch and Starch-Based Products in Food Industry. *Journal of Science and Technology*, 10(2). <https://doi.org/10.30880/JST.2018.10.02.023>
- Montoya Anaya, D., Madera Santana, T., Aguirre Mancilla, C., Gonzales Garcia, G., Nuñez Colín, C., & Rodriguez Nuñez, J. R. (2023). Caracterización fisicoquímica de almidón recuperado de papa (*Solanum tuberosum*) residual de la industria de papas fritas en México: Caracterización fisicoquímica de almidón recuperado de papa. *Biotecnia*, 25(2), 60–72. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1880>
- Munive-Ledezma, P. (2009) Elaboración de un suplemento alimenticio en polvo para consumo humano a partir de una mezcla de hidrolizado de soya y almidón de maíz. Tesis profesional. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador. 116 p. <http://bibdigital.epn.edu.ed/handle/15000/1666> Consultado el 20 de agosto de 2019.
- Murillo Monica. (1990). *Obtención de almidón de papa*. <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/pmig2017/0115756/0115756.pdf>
- Nurhayati, R., Suryadi, A. N., Ariani, D., Herawati, E. R. N., Miftakhussolikah, & Marsono, Y. (2022). Resistant starch in native *Tacca* (*Tacca leontopetaloides*) starch and its various modified starches. *International Food Research Journal*, 29(3), 667–675. <https://doi.org/10.47836/IFRJ.29.3.18>
- Olagunju, A., Omoba, O., Enujiugha, V., Alashi, A., & Aluko, R. (2020). Technological Properties of Acetylated Pigeon Pea Starch and Its Stabilized Set-Type Yoghurt. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 957, 9(7), 957. <https://doi.org/10.3390/FOODS9070957>

- Pastrana Coronado, D. L., & Quintero Rendon, A. E. (2021). *CARACTERIZACION FISICA, QUIMICA Y TERMICA DEL ALMIDON NATIVO Y OXIDADO DE BATATA (IPOMOEA BATATAS)*. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/12085>
- Pycia, K., Gałkowska, D., Juszczak, L., Fortuna, T., & Witczak, T. (2014). Physicochemical, thermal and rheological properties of starches isolated from malting barley varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 4797. <https://doi.org/10.1007/S13197-014-1531-3>
- Quettier, C. (2010). Procedimiento de preparación de derivados acetilados de materia amilácea.
- Ríos Romero, E. A., Ochoa Martínez, L. A., & Castro Morales, J. (2016). Efecto del tratamiento con ultrasonido sobre las propiedades funcionales y estructurales de almidón procedente de diversas fuentes: una revisión effect of ultrasonic treatment on structural and functional properties of starch from different sources: a review. <http://biotecnia.ojs.escire.net>
- Rivas González, M., Méndez Montealvo, M. G., Sánchez Rivera, M. M., Núñez Santiago, M. C., & Bello Pérez, L. A. (2008). Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado. *Agrociencia*, vol.42 no.5. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000500001
- Rivera Andrade, E., Hernández Centeno, F., Hernández González, M., & López De la Peña, H. Y. (2017). Extracción y caracterización parcial de almidón de una fuente no convencional: raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK). Saltillo, Coahuila, México Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Romero, C. (2017). *Efecto de la adición de almidon pregelatinizado en la estabilidad de una emulsión de carne de pollo tipo salchicha*. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/f84b690f-de03-4e86-9aea-8f80f121936c/content>
- Romero-Reyes, A., & Valenzuela-Soto, E. M. (2024). De los azúcares y de cómo regulan las plantas su propio alimento. *Revista Digital Universitaria*, 25(5). <https://doi.org/10.22201/CEIDE.16076079E.2024.25.5.1>

- Salcedo-Mendoza, Rodríguez-Lora, J. G.; & Figueroa-Flórez, M. C.; (2016). Diamante 22) Revista Mexicana de Ingeniería Química. 15(3), 787–796. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62048168010>
- Sanchez Rivera, J. (2020). *Efecto de la modificación dual mediante molienda de bolas y entrecruzamiento sobre las propiedades del almidón de malanga.*
- Sayra Churata, E. A. (2021). “Evaluación de las propiedades reológicas, físicoquímicas y funcionales del almidón de tres variedades de cañihua.” https://www.repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/15445/Sayra_Churata_Erika_Amelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información Tecnológica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Subroto, E., Cahyana, Y., Indiarto, R., & Rahmah, T. A. (2023). Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 2990, 15(14), 2990. <https://doi.org/10.3390/POLYM15142990>
- Syan, V., Kaur, J., Sharma, K., Patni, M., Rasane, P., Singh, J., & Bhadariya, V. (2022). An overview on the types, applications and health implications of fat replacers. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 27. <https://doi.org/10.1007/S13197-022-05642-7>
- Syed Mueez, A., Yumna, S., Mehnazst, S., & Muhammad Bilal, S. (2023). Extraction and characterization of starch from low-grade potatoes and formulation of gluten-free cookies containing modified potato starch. *Heliyon*, 9(9), e19581. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E19581>
- Thakur, K., Sharma, S., & Sharma, R. (2023). Morphological and Functional Properties of Millet Starches as Influenced by Different Modification Techniques: A Review. *Starch/Staerke*, 75(3–4), 2200184. <https://doi.org/10.1002/STAR.202200184;SUBPAGE:STRING:ABSTRACT;WEBSITE:WEBSITE:PERICLES;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:1521379X;WGROUP:STRING:PUBLICATION>

- Thalman, M., Pazmino, D., Seung, D., Horrer, D., Nigro, A., Meier, T., Kölling, K., Pfeifhofer, H. W., Zeeman, S. C., & Santelia, D. (2016). Regulation of Leaf Starch Degradation by Abscisic Acid Is Important for Osmotic Stress Tolerance in Plants. *The Plant Cell*, 28(8), 1860–1878. <https://doi.org/10.1105/TPC.16.00143>
- Torres Becerril, M., Carmona García, R., & Aguirre Cruz, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 905–912. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400019&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Torres- Rapelo, a. L., Montero-Castillo, . M., & Julio-González, I. C. (2014). Utilización de almidón de malanga (*colocasia esculenta* L.) En la elaboración de salchichas tipo frankfurt. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 97–105. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Trejo Cuevas, K., Rodríguez Castillejos, G., Reyes Gallardo, J., Lizarazo Ortega, C., & Hernández Jiménez, C. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 41(1), 59–66. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.6>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(spe), 223–230. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2016.03.09>
- Ventura-Avalos, Y., Díaz-Soto, R., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2024). Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y aplicaciones. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 311–325. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2024.024>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271–278. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000400271>
- Zhang, C., Du, M., Cao, T., & Xu, W. (2023). The Effect of Acetylation on the Physicochemical Properties of Chickpea Starch. *Foods*, 12(13), 2462. <https://doi.org/10.3390/FOODS12132462>

Zhu, J., Bai, Y., & Gilbert, R. G. (2023). Starch molecular structure and diabetes. *Food Research International*, 160, 111736.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111736>

Zięba, T., Kapelko-Zeberska, M., Gryzkin, A., Wilczak, A., Raszewski, B., & Spychaj, R. (2019). Effect of the Botanical Origin on Properties of RS3/4 Type Resistant Starch. *Polymers* 2019, Vol. 11, Page 81, 11(1), 81.
<https://doi.org/10.3390/POLYM11010081>